

# **Redes de Acesso**

## **Parte C - Tecnologias de Acesso DSL**

Mário Serafim Nunes

Setembro 2006

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DSL .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>HDSL .....</b>	<b>6</b>
3.1	Tramas HDSL .....	7
3.2	Aplicações de HDSL .....	10
<b>4</b>	<b>SHDSL .....</b>	<b>11</b>
4.1	Camada PMD.....	13
4.2	Camada PMS-TC.....	14
4.3	Camada TPS-TC.....	15
<b>5</b>	<b>VDSL.....</b>	<b>19</b>
5.1	Plano de Frequências.....	21
5.2	Camada PMD.....	22
5.3	VDSL2.....	23
<b>6</b>	<b>ADSL .....</b>	<b>24</b>
6.1	Características básicas .....	24
6.2	Ritmos de transmissão.....	25
6.3	ADSL Forum .....	26
6.4	Splitter .....	29
6.5	Modem ADSL.....	29
6.6	Multiplexagem ascendente / descendente .....	30
6.7	Codificação e modulação DMT .....	31
6.8	Correcção de erros e Interleaving .....	34
6.9	Estrutura de tramas ADSL .....	36
6.10	Extensões ADSL .....	38
6.11	Arquitecturas e configurações ADSL .....	38
6.11.1	Configuração com Modem ADSL .....	38
6.11.2	Configuração com Modem ADSL e Router.....	39
6.11.3	Configuração com IAD .....	40
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>42</b>
	<b>LINKS .....</b>	<b>43</b>
	<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>44</b>



# 1 Introdução

O troço final das redes públicas de telecomunicações, o chamado *Lacete Local*, é constituído tradicionalmente por um par de fios de cobre que ligam directamente cada cliente à rede pública. Para o serviço telefónico a banda utilizada nesses pares é limitada a 4 kHz, o que é adequado para o serviço telefónico analógico, sendo também essa a banda utilizada pelos Modems.

Para possibilitar serviços de banda larga, as tecnologias designadas DSL (*Digital Subscriber Line*) utilizam larguras de banda muito superiores, da ordem dos MHz, à custa de técnicas de codificação e modulação mais complexas. A utilização de bandas acima dos 4 kHz é uma característica das tecnologias designadas DSL, que as permite distinguir dos Modems, os quais apesar de terem visto progressivamente aumentar os seus ritmos máximos, desde os 1200 bit/s nos anos 70 (V.22) até aos 56 Kbit/s (V.90) dos anos 90, estão fortemente limitados pela reduzida largura de banda de 4 kHz disponível.

A fórmula de Shannon (1948) que estabelece o débito máximo de um canal, permite-nos avaliar essa limitação, ao demonstrar que a capacidade ( $C$ ) de um canal é proporcional à largura de banda disponível ( $Bw$ ) e ao logaritmo na base 2 da relação sinal-ruído ( $S/N$ ) desse canal:

$$C = Bw \times \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

Assim, podemos concluir que para uma dada relação sinal/ruído, só é possível aumentar a capacidade do canal aumentando a largura de banda disponível.

As tecnologias de transmissão digital com base em pares de cobre entrançados tiveram a sua origem no início dos anos 60 nos *Bell Labs*, onde foi desenvolvida a tecnologia de multiplexagem DS1. Normalizada nos EUA como interface digital T1, especifica uma trama de multiplexagem de 24 canais de 64 Kbit/s, totalizando um ritmo global simétrico de 1,5 Mbit/s.

Na Europa foi definido pelo ETSI uma interface digital equivalente designada por E1, a qual no entanto divergia da T1 em vários aspectos, nomeadamente na estrutura, a qual era constituída por 30 canais de voz ou dados de 64 Kbit/s, num total de 2,048 Mbit/s, full-duplex.

As interfaces T1 e E1 foram utilizadas em larga escala nos sistemas de transmissão digital para interligação de centrais telefónicas e posteriormente para interligação de comutadores de dados. Outra área de aplicação destas interfaces foi no segmento empresarial, sendo utilizadas como circuitos alugados para interligação de PABX, Computadores de grande porte, na constituição de redes privadas e para interligação de LANs para empresas.

Para o mercado residencial, porém, estas interfaces nunca foram muito utilizadas, não só pelo seu elevado custo, mas também porque a codificação de linha utilizada (código AMI) provocava uma elevada interferência electromagnética (*crosstalk*) nos cabos, de tal forma que não podia ser utilizada em larga escala. Para além disso a elevada atenuação resultante da largura de banda utilizada (1,5 MHz) requeria a instalação de repetidores de sinal a cada 1100 metros, o que encarecia substancialmente a sua instalação.

Em meados dos anos 80, novas investigações nos *Bell Labs* resultaram na construção do primeiro *Modem DSL* e no desenvolvimento de novos tipos de codificação sobre os pares de cobre, utilizando menor largura de banda e sem necessitar de repetidores.

## 2 Classificação das tecnologias DSL

Designam-se por DSL (*Digital Subscriber Line*) as tecnologias de transmissão digital na linha do assinante, entre o equipamento terminal do utilizador e a central local pública e baseadas em par de cobre entrançado. Estas tecnologias caracterizam-se por possibilitar débitos elevados, sem necessitar de grandes investimentos em infra-estruturas de rede de acesso, utilizando para tal uma largura de banda no par entrançado muito superior à utilizada no serviço telefónico normal.



Dada a quase ubiquidade deste meio físico a *DSL* apresenta-se como uma tecnologia capaz de, no curto prazo, suportar com custos razoáveis a disseminação do acesso a serviços de banda larga, possibilitando vários serviços simultâneos, nomeadamente de voz, dados e vídeo, com elevados débitos.

Designa-se genericamente por xDSL o conjunto de tecnologias DSL, algumas das quais já estão normalizadas e outros persistem como tecnologias proprietárias. As tecnologias já normalizadas ou em fase avançada de normalização são as seguintes: HDB3 T1/E1, IDSL, HDSL, SDSL, ADSL, UDSL (ADSL Lite), SDSL/SHDSL e VDSL.

## HDB3 T1/E1

As interfaces T1/E1 são as interfaces digitais mais antigas, havendo actualmente milhões de linhas instaladas, orientadas para o mercado empresarial.

A interface T1 é usada nos EUA, tem um ritmo de 1,544 Mbit/s e está estruturada em 24 canais DS0 de 64 Kbit/s. O alcance da interface E1 é de apenas 800 metros em cabo 26 AWG, devido ao facto de utilizar uma codificação pseudo-ternária HDB3, uma variante do código AMI (*Amplitude Mark Inversion*).

A interface E1 é usada na Europa, tem um ritmo de 2,028 Mbit/s e está estruturada em 30 canais B de 64 Kbit/s. O alcance desta interface é de aproximadamente 1 Km em cabo de 0,4 mm.

Devido ao alcance reduzido destas tecnologias e à interferência espectral causada pelo código de linha utilizado (AMI), estas tecnologias estão a ser substituídas, nomeadamente por HDSL e SDSL.

## IDSL - ISDN Digital Subscriber Line

A interface básica RDIS foi a primeira tecnologia DSL instalada em larga escala no mercado residencial e PMEs. Esta interface está estruturada em dois canais B de 64 Kbit/s e um canal D de 16 Kbit/s.

A IDSL (ISDN DSL) é baseada na interface U da Interface Básica RDIS, utilizando a tecnologia de cancelamento de eco e os códigos de linha 4B3T ou 2B1Q e um ritmo simétrico de 144 Kbit/s. É de notar que, ao contrário da interface básica RDIS, a IDSL não está estruturada em dois canais B e um canal D, existindo um único canal de 144 Kbit/s.

## HDSL - High data rate Digital Subscriber Line

A tecnologia HDSL foi desenvolvida para o mercado empresarial, com o objectivo de substituir o T1 e o E1 em pares entrelaçados de cobre. Usando dois pares (T1) ou três (E1) e através de técnicas de modulação avançadas, a HDSL utiliza menos largura de banda e consegue transmitir, em modo simétrico e bidireccional até 1,544 Mbit/s (T1) e 2,048 Mbit/s (E1) em linhas até 4,5 km sem necessitar de repetidores de sinal.

Esta tecnologia está bem implantada no mercado empresarial, tendo contudo a desvantagem de usar mais de um par de cobre, o que representa um uso ineficiente da infra-estrutura e a torna vulnerável à sua eventual substituição pela tecnologia SDSL.

## ADSL

A tecnologia ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) foi desenvolvida no início dos anos 90, estando especialmente vocacionada para abordar o mercado residencial. Tal como o nome indica, a transmissão de dados é feita de modo assimétrico, sendo possível atingir ritmos até 8 Mbit/s no sentido descendente (da rede para o utilizador) e até 1 Mbit/s no sentido ascendente (do utilizador para a rede). Esta tecnologia permite que o utilizador continue a usar simultaneamente a linha telefónica analógica, através da instalação de um *Splitter* externo, basicamente constituído por dois filtros, um passa-baixo para o telefone e um passa-alto para os dados.

A tecnologia UDSL / ADSL Lite / G.Lite é uma evolução de ADSL, tendo sido especificamente desenvolvida para ir de encontro às necessidades de *plug-and-play* do mercado residencial.



O ADSL *Lite* é uma versão do ADSL que usa uma largura de banda média, providenciando acessos à *Internet* cerca de 30 vezes mais rápidos que os vulgares *modems* analógicos de 56 kbit/s. Os seus débitos máximos podem ir até aos 1,5 Mbit/s no sentido descendente e 500 Kbit/s no sentido ascendente.

A principal diferença em relação ao ADSL original reside no facto de não haver necessidade de instalar um *splitter* externo, o que torna os *modems* ADSL *Lite* tão fáceis de utilizar como os *modems* analógicos actuais.

As tecnologias ADSL2 [ITU-T G.992.3] e ADSL2+ [ITU-T G.992.5] são evoluções tecnológicas recentes do ADSL, cujas principais características são um aumento dos débitos. ADSL2 ocupa uma largura de banda de 1,1 MHz e permite um débito descendente até 12 Mbps. ADSL2+ ocupa uma largura de banda de 2,2 MHz na linha e permite um débito descendente até 24 Mbps.

## SHDSL / SDSL

A tecnologia SHDSL (Symmetric High Bit Rate Digital Subscriber Loop) [ITU-T G.991.2], também designada SDSL (*Single Line Digital Subscriber Line*) [ETSI TS 101 524], é uma evolução da *HDSL* que utiliza apenas um par de cobre para implementar a transmissão T1 ou E1 e que portanto se adapta bem a todo o vasto segmento de mercado que possui apenas uma linha telefónica.

A principal característica distintiva é a de especificar um protocolo (*handshake*) que permite negociar o tipo de serviço e ritmo durante a fase de arranque do sistema. Os ritmos simétricos previstos variam de 192 Kbit/s a 2360 Kbit/s.

Apesar de operar, no máximo, a distâncias até 3 Km, esta tecnologia é claramente substituta do *HDSL*, ajustando-se a todas as aplicações que necessitam de acesso simétrico, como sejam servidores e utilizadores remotos de LAN's. A simetria de transmissão confere-lhe alguma complementaridade em relação ao ADSL.

## VDSL

O *VDSL* (Very High Data Rate Digital Subscriber Line) estende o conceito do ADSL, oferecendo ritmos até 52 Mbit/s no sentido descendente e 2 Mbit/s no sentido ascendente, para distâncias até 300 m, preservando igualmente o POTS.

Estes elevados ritmos dão a esta tecnologia boas possibilidades de ser utilizada em redes de banda larga do tipo *Fiber To The Cabinet (FTTC)*. Está em desenvolvimento uma evolução do *VDSL*, chamada *VDSL2* cujo objectivo é atingir débitos de 100 Mbit/s descendente e 50 Mbit/s ascendente.

Na tabela seguinte apresenta-se um quadro resumo comparativo das principais tecnologias DSL.

Tabela 2.1 - Resumo das várias normas DSL

Tecnologia	Ritmos de Transmissão	Comentários
IDSL	128 Kbit/s, simétrico	Interface U da interface básica RDIS
ADSL	Down: 1.5 a 8 Mbit/s Up: 16 a 640 kbit/s	Indicado para o mercado residencial e PMEs.
UDSL ADSL Lite	Down: 1.5 Mbit/s Up: 500 Kbit/s	Ritmo de transmissão mais baixo que ADSL, norma ANSI T1.413. Não tem Splitter.
HDSL	ETSI: até 2.048 Mbit/s EUA: até 1.544 Mbit/s	Substituto das tecnologias T1/E1. Fornece um canal simétrico full duplex em 2 ou 3 pares.
SHDSL/SDSL	192 Kbit/s a 2.3 Mbit/s	Canal simétrico, utiliza só um par de cobre.
VDSL	Máx. 52 Mbit/s	Curta distância, aproximadamente até 900 metros



Na figura seguinte apresenta-se a ocupação espectral da linha para diferentes tecnologias DSL, nomeadamente a ADSL combinada com POTS e ISDN, UDSL / ADSL Lite e SDSL.

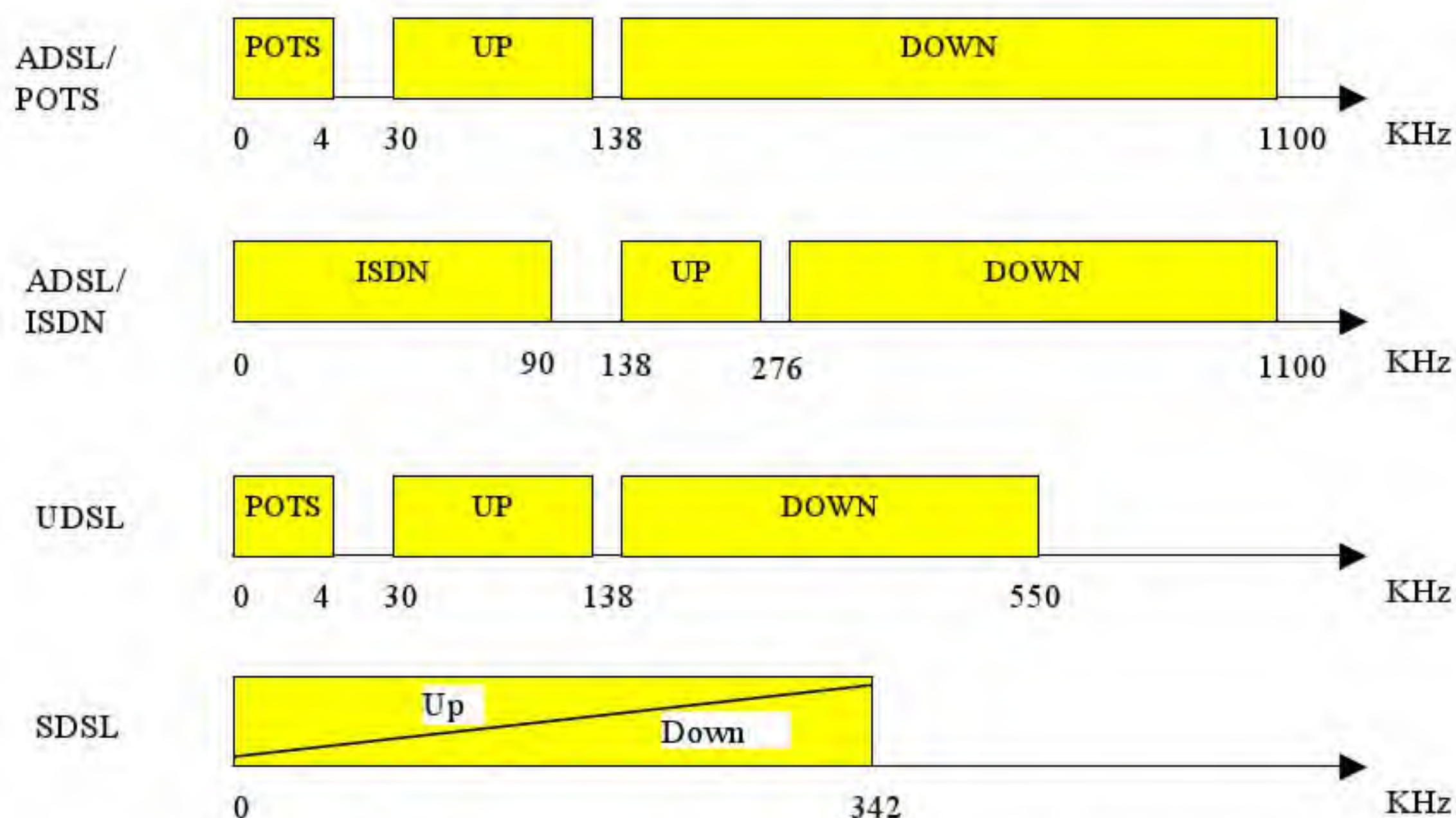


Figura 2.1 - Ocupação espectral de algumas tecnologias xDSL (Fonte: Siemens)

Na figura seguinte apresenta-se um diagrama simplificado de evolução de tecnologias DSL simétricas:

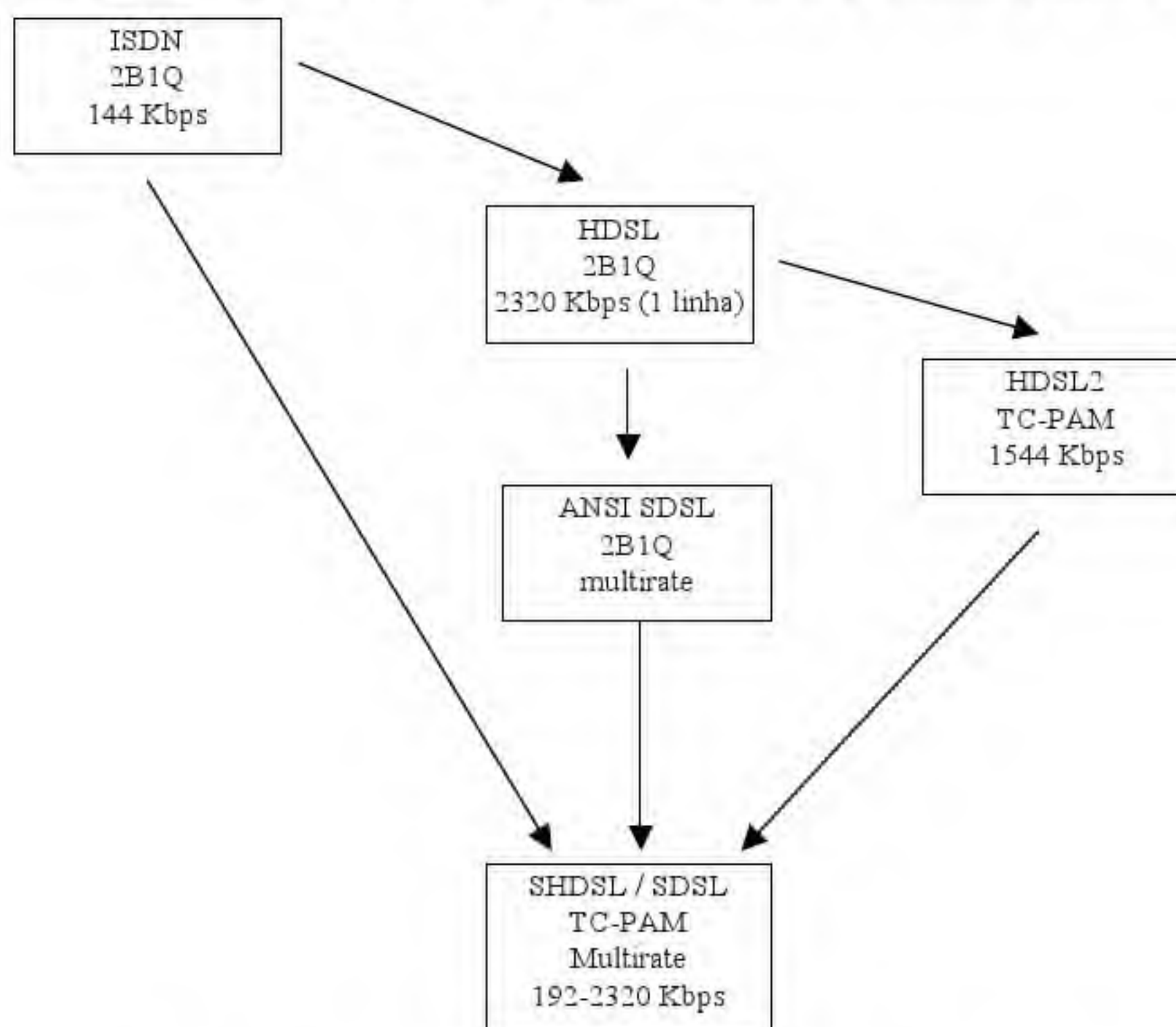


Figura 2.2 - Diagrama de evolução de tecnologias DSL simétricas



### 3 HDSL

A tecnologia HDSL (*High data rate Digital Subscriber Line*) foi especificada pelo ITU-T na recomendação G.991.1 [11] com o nome original de *High bit rate Digital Subscriber Line*. Esta recomendação especifica um sistema de transmissão bidireccional simétrico permitindo o transporte de sinais com um ritmo de 1544 kbit/s ou 2048 kbit/s em pares entrançados de cobre na rede de acesso. O trabalho de base foi feito pelo comité ANSI T1 para o ritmo de 1544 kbit/s e adaptado pelo ETSI para 2048 kbit/s.

O HDSL utiliza a técnica de cancelamento de eco para a separação das direcções de transmissão, de modo a poder transmitir bidireccionalmente sobre um único par de cobre. Foram definidas duas técnicas de codificação de linha, a *Pulse Amplitude Modulation* (PAM) 2B1Q e a *Carrierless Amplitude/Phase Modulation* (CAP), esta última só para 2048 kbit/s e actualmente pouco utilizada. Para 2B1Q foram definidos 2 formatos de trama para 1544 kbit/s e 2048 kbit/s.

Nos EUA o HDSL é usado para transportar num par de cobre 784 kbit/s até uma distância de aproximadamente 3,5 km, o que permite o transporte de uma interface T1 (1544 kbit/s) usando dois pares.

Na Europa há três opções para o transporte de uma interface E1 de 2 Mbit/s:

- 1 par, cada um com débito de 784 kbit/s;
- 2 pares, cada um com débito de 1168 kbit/s;
- 3 pares, com débito de 2320 kbit/s;

A opção mais utilizada é a de 2 pares, um bom compromisso entre o número de pares utilizado e o alcance do sistema. A opção de 3 pares permite aplicações do tipo ponto a multiponto, fraccionando o débito em três partes iguais, mas não é muito utilizada actualmente.

Existe ainda a possibilidade de operação em modo fraccionado em apenas um par mas a metade do débito. Quando existe um corte num dos pares o sistema pode funcionar em modo parcial, com metade do débito em apenas um par. É possível atribuir prioridades aos *time-slots* de modo a que, no caso de um corte num dos pares a informação mais crítica continue a ser transportada no outro par.

Uma secção digital de acesso HDSL pode ser representada pelos blocos funcionais da Figura 3.1.

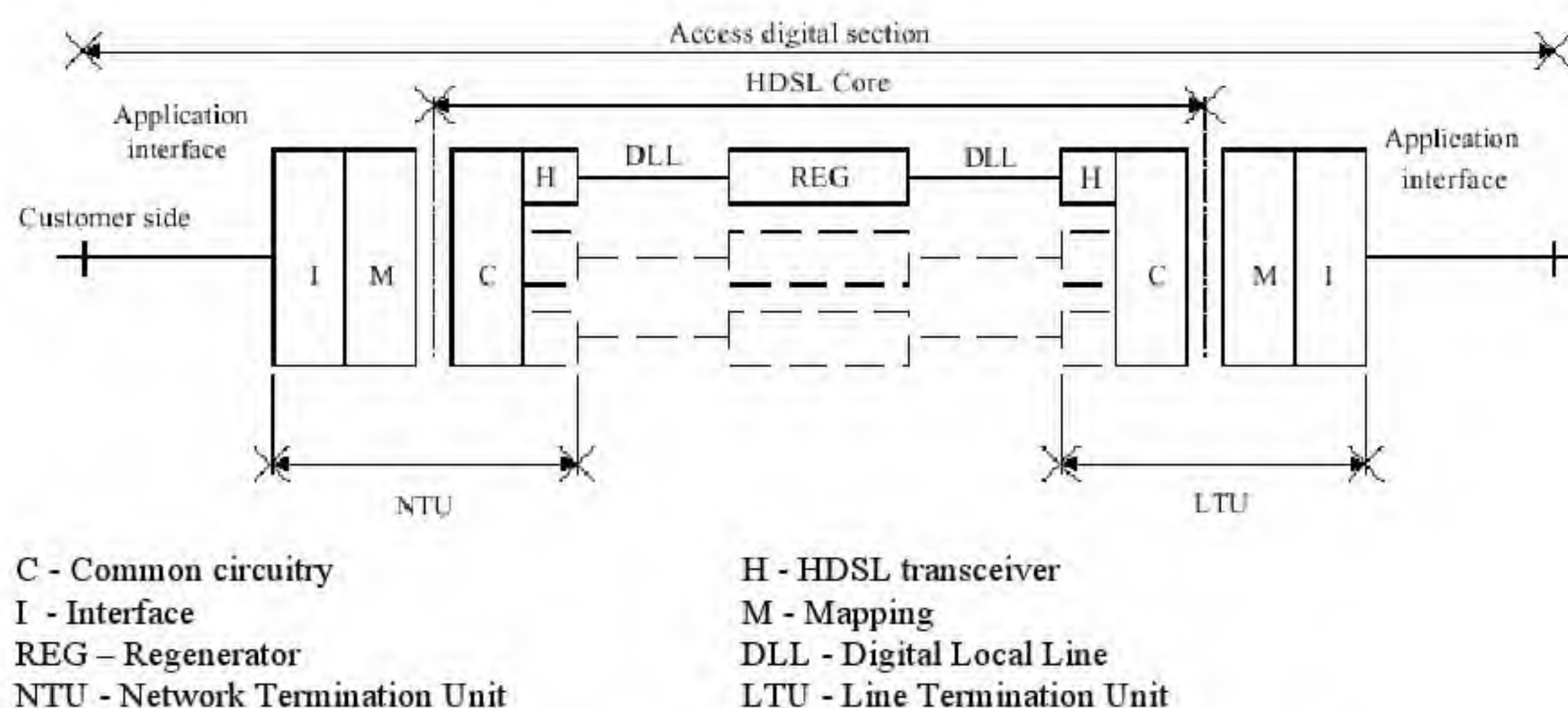


Figura 3.1 - Diagrama funcional de secção digital de acesso HDSL

Dependendo do ritmo de transmissão, a ligação consiste num par de transceivers HDLC a 2320 kbit/s, dois de 1168 kbit/s, ou três de 784 kbit/s interligados por linha digitais (DLL).

Como vimos, o código de linha mais usado em HDSL é *2B1Q* (*two Binary, one Quaternary*), que transforma cada dois bits consecutivos (*2B*) num símbolo quaternário (*1Q*). Assim no código *2B1Q* o ritmo de símbolos (baud) é metade do ritmo de transmissão (bit/s). A codificação é feita de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Código de linha *2B1Q*

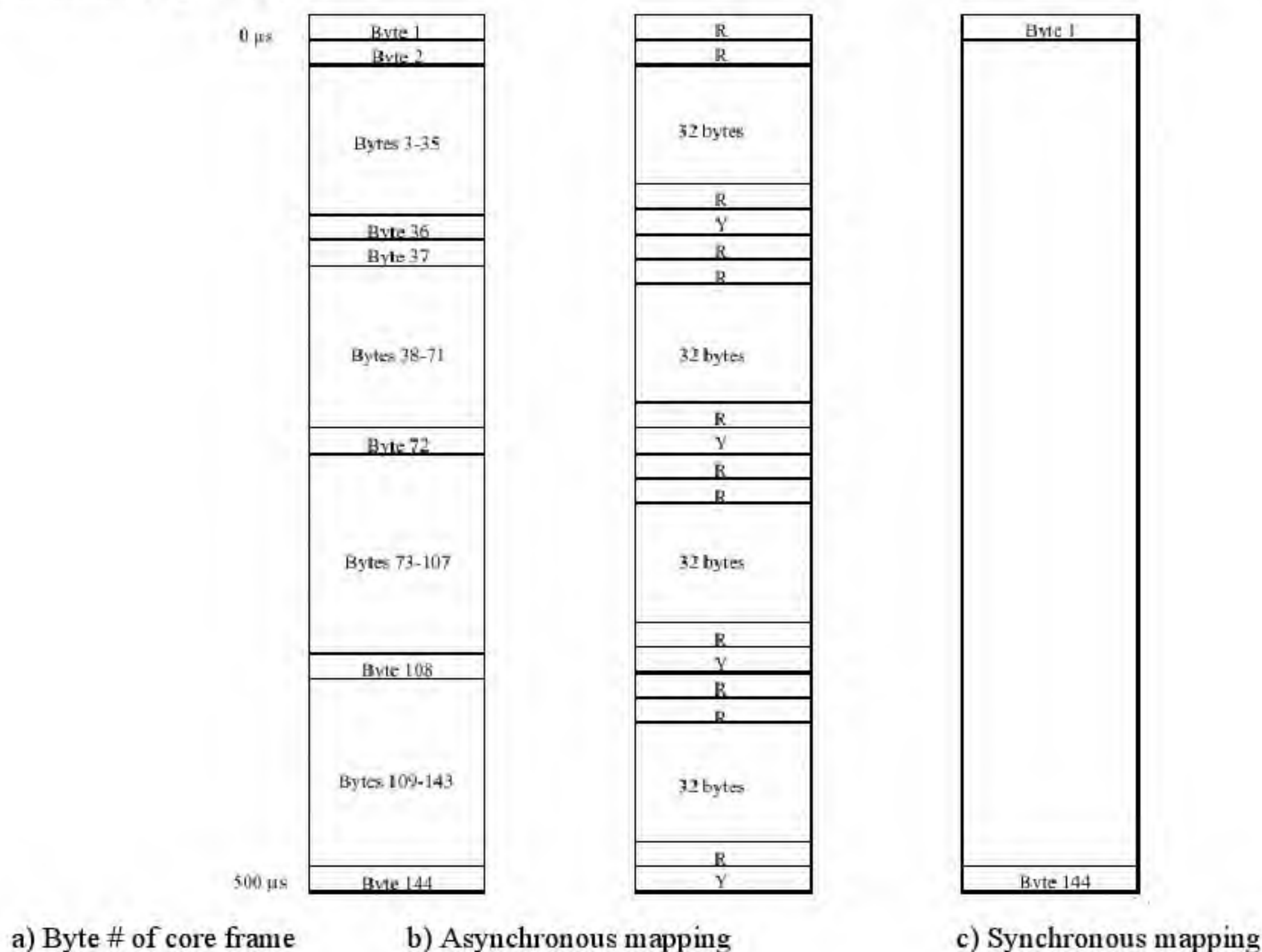
Primeiro bit (sinal)	Segundo bit (amplitude)	Símbolo Quaternário
1	0	+ 3
1	1	+ 1
0	1	- 1
0	0	- 3

A taxa de símbolos de HDSL é a seguinte:

- 392 kbaud para um sistema com 3 pares;
- 584 kbaud para um sistema com 2 pares;
- 1160 kbaud para um sistema com 1 par.

### 3.1 *Tramas HDSL*

A informação que é entregue para o transporte em HDSL depende da aplicação, podendo ser mapeada de várias formas (Figura 3.2).





**Figura 3.2 - Trama HDSL Base (Core Frame)**

A trama *core* HDSL tem a duração de 500  $\mu$ s e contém 144 bytes de informação, a que corresponde o débito de  $\frac{144 * 8}{500 \times 10^{-6}} = 2304$  kbit/s. Os octetos R e Y são de enchimento.

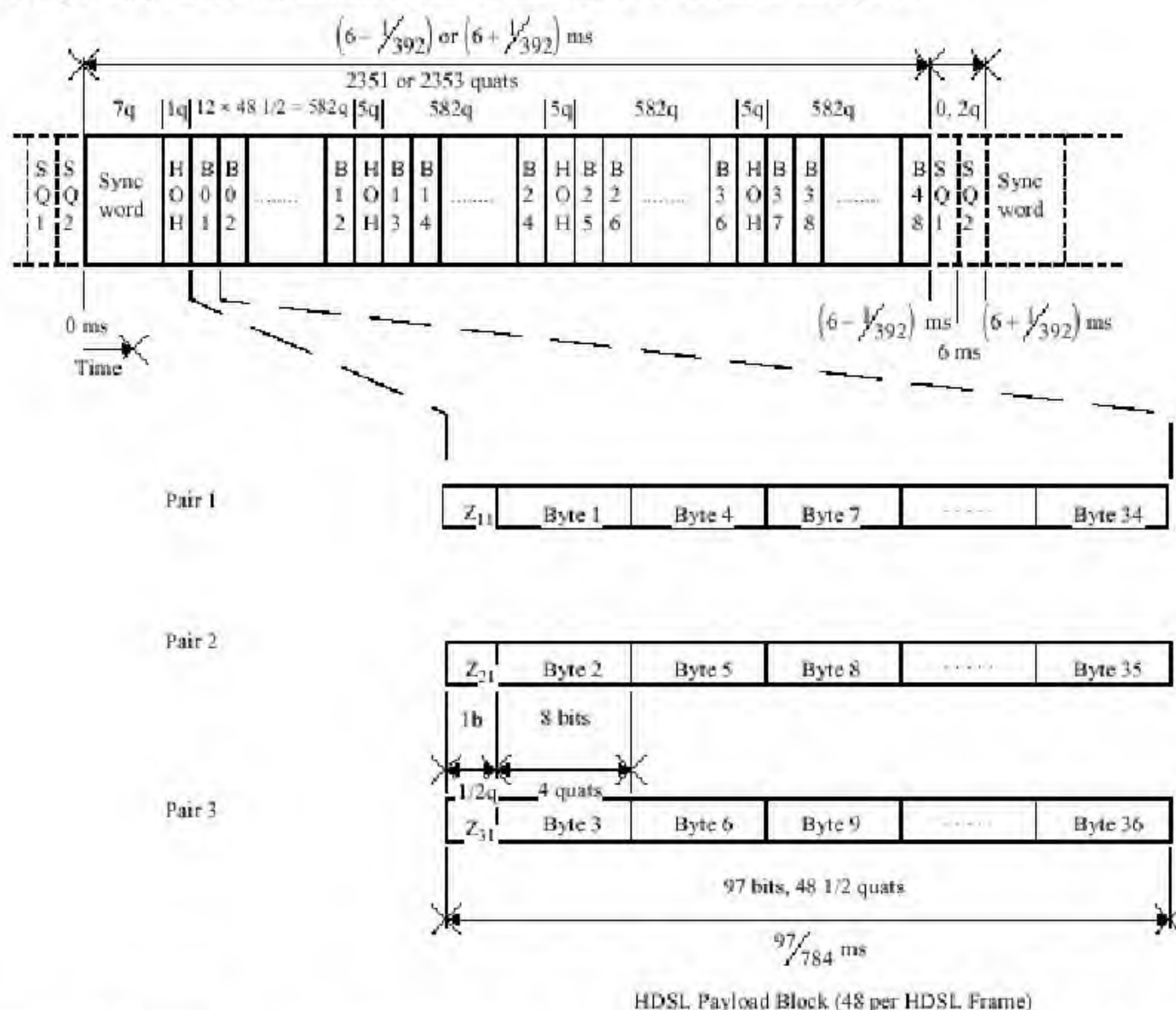
A informação é inserida continuamente em tramas sucessivas. No caso de sistemas com 2 ou 3 pares, a informação é repartida octeto a octeto pelos diferentes pares existentes.

As tramas HDSL têm duração de 6 ms, sendo o comprimento de cada trama dependente do ritmo, como é indicado na tabela seguinte.

**Tabela 3.2 - Comprimento das tramas *HDSL***

HDSL	Kbit/s	Símbolos trama	por	Bits por trama
1 par	2320	6960		13920
2 pares	1168	3504		7008
3 pares	784	2352		4704

A Figura 3.3 mostra o conteúdo de uma trama HDSDI a transmitir em 3 pares.



B01 to B48 HDSL system payload blocks

HOH HDSL overhead (sw, eoc, crc, ...)

Sync word 7-symbol Barker codes, "double Barker" → 14 bits

$Z_{mn}$  Additional overhead bits (Z-bits),  $m$  - pair ( $m = 1 \dots 3$ ),  $n$  - number of payload block ( $n = 1 \dots 48$ )

Byte n – byte from core frame (n=1..144)

quat - Quaternary symbol

SQ1, SQ2 Stuff quats



Figura 3.3 - Estrutura da trama HDSL em 3 pares

A trama começa por um padrão de sincronismo (*Sync Word*) composto por 7 símbolos (14 bits). Este padrão é usado em ambas as direcções e é igual em todos os pares e corresponde à seguinte sequência: +3, +3, +3, -3, -3, +3, -3.

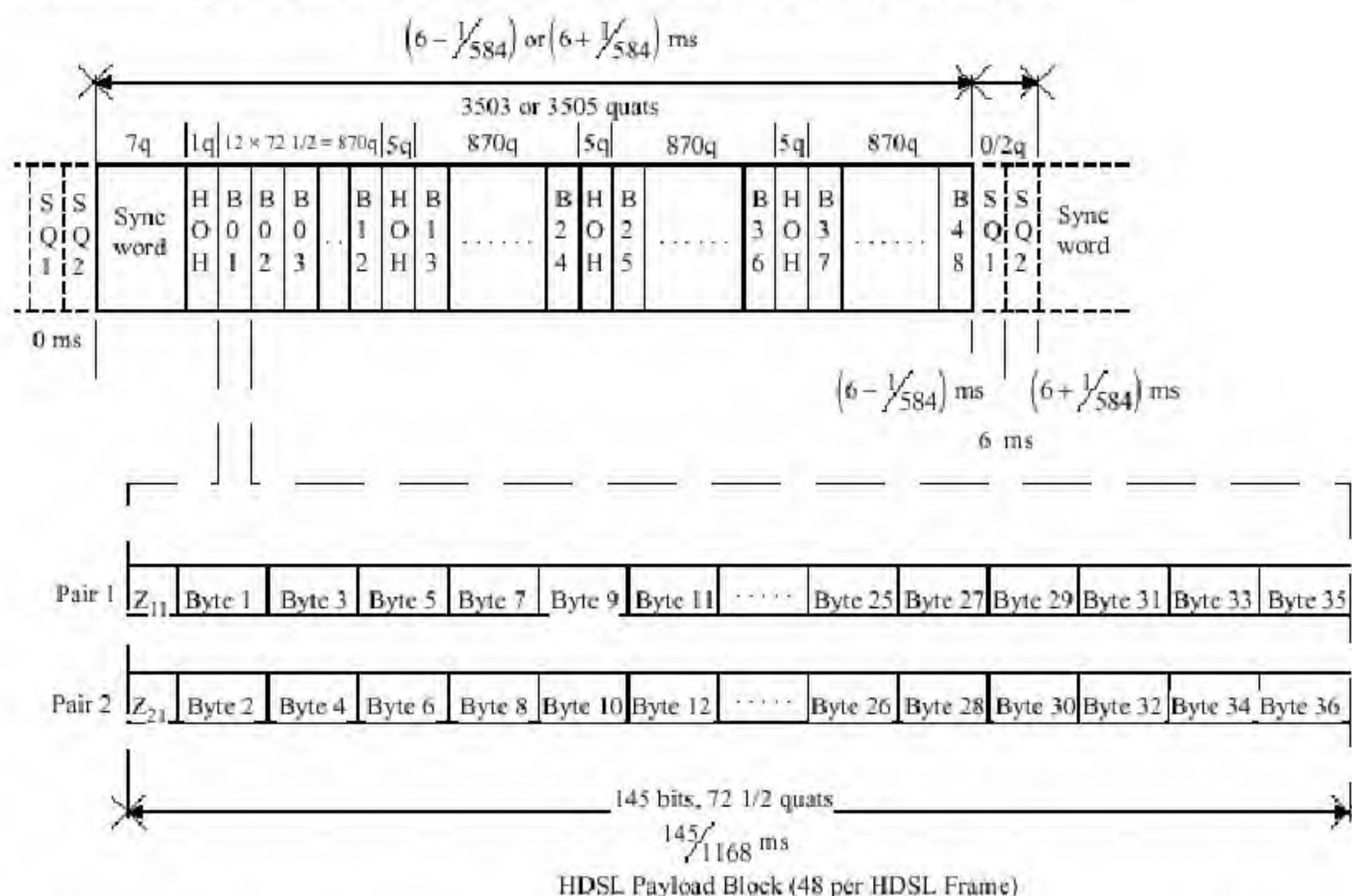
Segue-se um símbolo de cabeçalho HDSL (HOH) e 12 blocos (*Bxx*) de informação (*payload*), cada um com 48,5 símbolos (97 bits) ou 1 bit +12 bytes. Seguem-se mais 3 sequências com 5 símbolos de HOH e 12 blocos de informação. Os blocos são numerados de B01 a B48. O cabeçalho HOH inclui bits de sincronismo, bits eoc (*embedded operations channel*) e bits CRC.

Dentro de cada bloco *Bxx* existe um primeiro bit *Z* para diferenciar o par no qual se envia ou recebe os dados. São distribuídos 36 bytes de informação por cada par conforme indicado na Figura 3.3.

Como a trama E1 apenas tem na sua estrutura 32 bytes, os 4 bytes extra são usados para compatibilidade com os contentores virtuais SDH E1. Estes grupos são transportados 48 vezes numa trama HDSL (B01...B48), ou 48 vezes em 6 ms. Como cada bloco tem 12 bytes (96 bits) por par, o ritmo de transmissão de informação é portanto  $\frac{96 \times 48}{0,006} = 768$  kbit/s por par. Nos 3 pares a informação é transportada a  $3 \times 768$  kbit/s = 2304 kbit/s.

Os cabeçalhos introduzidos são o padrão de sincronismo (14 bits) e o cabeçalho HDSL (HOH), partido em 4 na trama ( $2+10 \times 3 = 32$  bits), e um bit (*Z*) por cada bloco *Bxx* (48 bits). Podem existir também entre 0 e 2 símbolos de enchimento (*stuffing*) para acertos de tempo, que em média resulta num símbolo (ou 2 bits) de enchimento. No total existem  $14+32+48+2 = 96$  bits de cabeçalho espalhados por trama (em média). O ritmo de transmissão real em cada par é por isso de  $(96+96+48)/6$  ms = 784 kbit/s, o que nos 3 pares resulta em  $3 \times 784 = 2352$  kbit/s.

A estrutura da trama com transmissão em dois pares é a indicada da Figura 3.4.



B01 to B48 HDSL system payload blocks

HOH HDSL overhead (sw, eoc, crc, ...)

SQ1, SQ2 Stuff quats

$Z_{mn}$  Additional overhead bits (Z-bits)

*n* Indicating number of payload block ( $n = 1 \dots 48$ )

Byte *n* - Byte *n* from core frame ( $n = 1 \dots 144$ )

quat - Quaternay symbol

Sync word 7-symbol Barker codes,

*m* Indicates pair ( $m = 1 \dots 2$ )

Figura 3.4 - Estrutura da trama HDSL em 2 pares



A estrutura é análoga à de 3 pares, mas como a transmissão é feita em 2 pares cada bloco B01–B48 tem 18 bytes mais um bit Z de identificação, resultando em 144+1 bits ou 72,5 símbolos. O ritmo de transmissão de informação é portanto  $(144 \times 48)/6 \text{ ms} = 1152 \text{ kbit/s}$  por par. Nos 2 pares a informação é transportada a  $2 \times 1152 = 2304 \text{ kbit/s}$ , como anteriormente. Como os cabeçalhos são os mesmos (96 bits), o ritmo de transmissão real em cada par é por isso de  $(96+144+48)/6 \text{ ms} = 1168 \text{ kbit/s}$ , o que nos 2 pares resulta em  $2 \times 1168 = 2336 \text{ kbit/s}$ .

A estrutura da trama para um único par é a da Figura 3.5

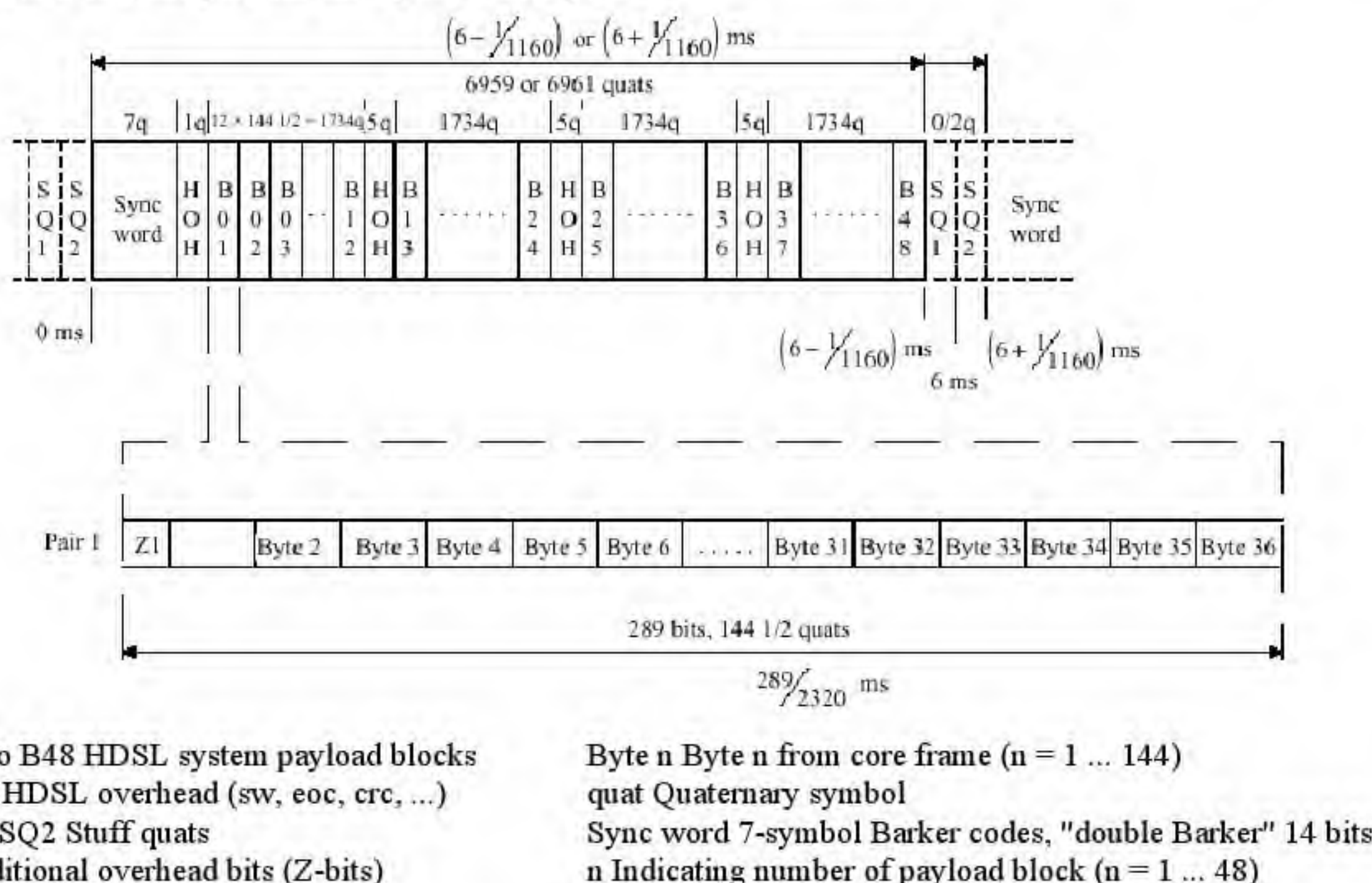


Figura 3.5 - Estrutura da trama HDSL em 1 par

A estrutura também é análoga à de 3 pares mas como a transmissão é feita só num par, cada bloco B01–B48 tem 36 bytes mais um bit Z de identificação, resultando em 288+1 bits ou 72,5 símbolos. Neste caso como não é necessária a identificação do par os bits Z são presentemente definidos a 1, estando a sua utilização reservada para futuras aplicações. O ritmo de transmissão de informação é portanto  $(288 \times 48)/6 \text{ ms} = 2304 \text{ kbit/s}$ . Como os cabeçalhos também são os mesmos (96 bits), o ritmo de transmissão real é de  $(96 + 288 \times 48)/6 \text{ ms} = 2320 \text{ kbit/s}$ .

A Tabela 3.3 resume as características das tramas, incluindo o *overhead* do cabeçalho.

Tabela 3.3 - Ritmos da informação e cabeçalho

HDSL	Informação		Cabeçalho	Overhead do Cabeçalho
	Bytes	Ritmo (Kbit/s)	Bytes	
3 pares	3x576	3 x 768	3x12	2,70 %
2 pares	2x864	2 x 1152	2x12	1,82 %
1 par	1728	2304	12	0,92 %

## 3.2 Aplicações de HDSL

O HDSL fornece serviços E1 de forma transparente para operadores e clientes. Assim todas as aplicações dantes suportadas em LTU E1 podem ser migradas para HDSL, beneficiando de um maior alcance e de um código de linha menos interferente, já que como se sabe, o código de linha utilizado em E1 é o HDB3 (*High Density*



*Bipolar order 3*), é baseado no AMI (*Alternate Mark Inversion*) com códigos de violação para mais de 4 zeros. Como o HDSL não é tão sensível a interferências, a qualificação dos pares (testes de campo, ensaios) necessários na instalação de UTLs não é necessária, podendo na maior parte dos casos instalar-se o sistema sem problemas. O tempo de instalação é assim melhorado.

O alcance dos sistemas *HDSL* depende do calibre do cabo utilizado, tal como se indica na tabela seguinte para os valores mais comuns de cabos de transmissão.

Tabela 3.4: Alcances em HDSL sobre 2 pares, sem interferências

Calibre do cabo	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,9 mm
Alcance	3,5 – 4 km	4 – 5 km	5 – 6 km	8 – 10 km

O alcance pode ser aumentado recorrendo a regeneradores de sinal colocados ao longo do cabo. Em geral, estão disponíveis no máximo dois regeneradores por ligação, permitindo assim triplicar a distância.

Outra funcionalidade interessante do equipamento HDSL é a possibilidade de alimentar os regeneradores ou o equipamento terminal remotamente, a partir da central. Esta funcionalidade é muito utilizada pelas operadoras pois permite uma independência do sistema em relação à distribuição de energia no exterior.

As principais aplicações de transmissão em HDSL incluem:

- Servidores de Internet;
- Interligação de redes privadas suportadas em cobre;
- Ligações de PPCA/PABX a centrais públicas distantes;
- Interligação de PPCA/PABX
- Interligação de LANs;
- Interligação de sistemas de vídeo-conferência;
- Interligação de Estações de Base de redes celulares (ex.: GSM);
- Transporte de acessos RDIS Primários;

## 4 SHDSL

A tecnologia *Single-Pair High-Speed Digital Subscriber Line* (SHDSL) foi especificada pelo ITU-T na recomendação G.991.2 [I2], sendo também conhecida por G.SHDSL (Cisco) com a designação *Symmetrical High Data Rate Digital Subscriber Loop*.

Esta tecnologia foi igualmente designada pelo ETSI como SDSL (*Symmetrical single pair high bitrate Digital Subscriber Line*), estando especificada na TS 101 524 [E3].

As principais características de SHDSL são as seguintes:

- Ritmo de transmissão ajustável em múltiplos de 8 kbit/s desde 192 kbit/s até 2360 kbit/s;
- Transmissão síncrona ou plesiócrona;
- Ritmos de 2Mbit/s com uma linha de 2,4 km, até 384 kbit/s com uma linha de 4,5 km;
- Transmissão num único par de cobre;

O SHDSL é uma evolução do HDSL que usa modulação de amplitude 16-PAM e codificação de Trellis. A norma SDSL proposta pelo ETSI começou por propor 2B1Q mas já inclui a opção de TC-PAM. Existe a possibilidade em SHDSL de usar 2 pares e duplicar o débito até 4 Mbit/s para a mesma distância assim como a



possibilidade de utilizar repetidores para aumentar a distância coberta. O SHDSL usa o protocolo definido na G.994.1 [I8] para a negociação inicial (*handshaking*).

Os transceivers SHDSL são desenhados em geral para operação duplex sobre um par entrançado metálico com diferentes diâmetros, embora a operação sobre dois pares também seja prevista como opção, bem como a utilização de regeneradores para aumentar o alcance.

Os transceivers SHDSL permitem ritmos simétricos seleccionados na gama de 192 kbit/s a 2312 kbit/s usando um código de linha *Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation* (TC-PAM). Eles foram designados de modo a serem espectralmente compatíveis com outras tecnologias de transmissão instaladas na rede de acesso, incluindo outras tecnologias DSL.

A principal característica distintiva desta tecnologia é a de permitir negociar o tipo de serviço e ritmo durante a fase de arranque do sistema através de um protocolo (*handshake*).

Os ritmos simétricos previstos variam de 192 Kbit/s a 2360 Mbit/s sobre um par de cobre, em incrementos de 8 Kbit/s. Os ritmos permitidos são dados pela fórmula  $n \times 64 + i \times 8$  kbit/s, em que  $3 \leq n \leq 36$  e  $0 \leq i \leq 7$ . Para  $n=36$ ,  $i$  é restringido aos valores de 0 ou 1. A recomendação também especifica um modo opcional de dois pares capaz de suportar ritmos de 384 kbit/s a 4624 Mbit/s em incrementos de 16 kbit/s.

A figura seguinte mostra o modelo funcional do sistema de transmissão SHDSL.

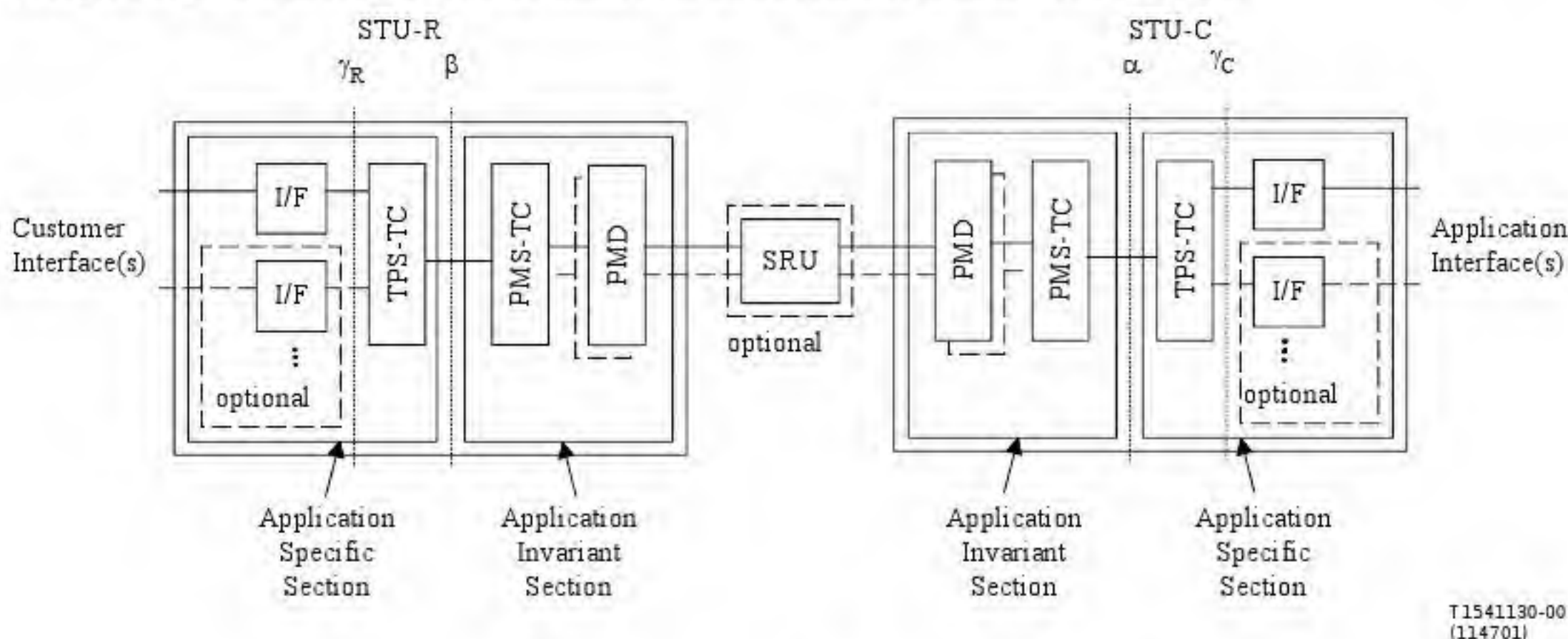


Figura 4.1 - Modelo funcional do sistema de transmissão SHDSL

O modelo de protocolos SHDSL é constituído por três camadas:

TPS-TC - Transmission Protocol Specific Transmission Convergence

PMS-TC - Physical Media Specific Transmission Convergence

PMD - Physical Media Dependent

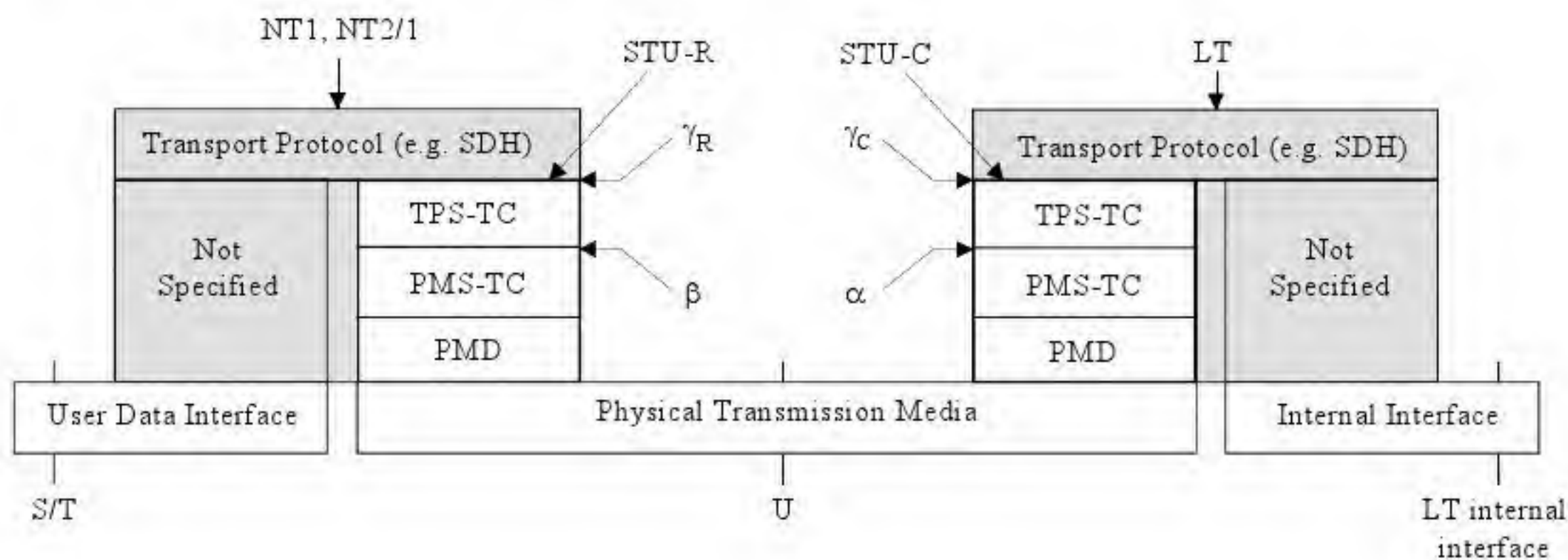




Figura 4.2 - Modelo de referência de protocolos do plano do utilizador

## 4.1 Camada PMD

O modelo de referência do modo de dados da camada PMD do transmissor STU-C ou STU-R é mostrada na figura seguinte.

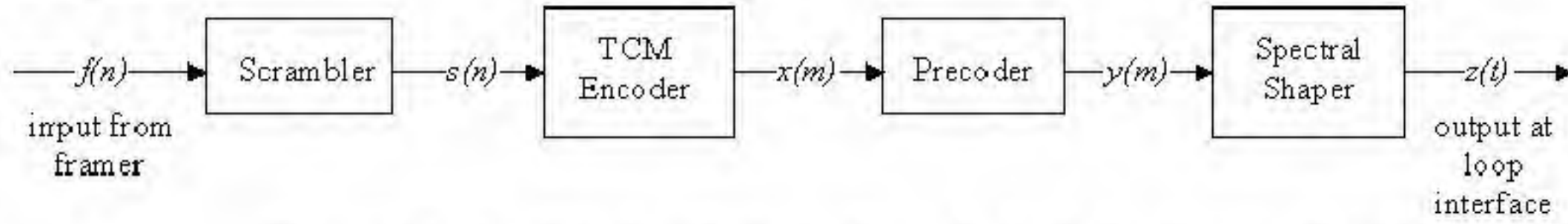


Figura 4.3 - Modelo de referência do modo de dados da camada PMD

O diagrama de blocos do codificador TCM (*Trellis Coded Modulation*) é mostrado na figura seguinte.

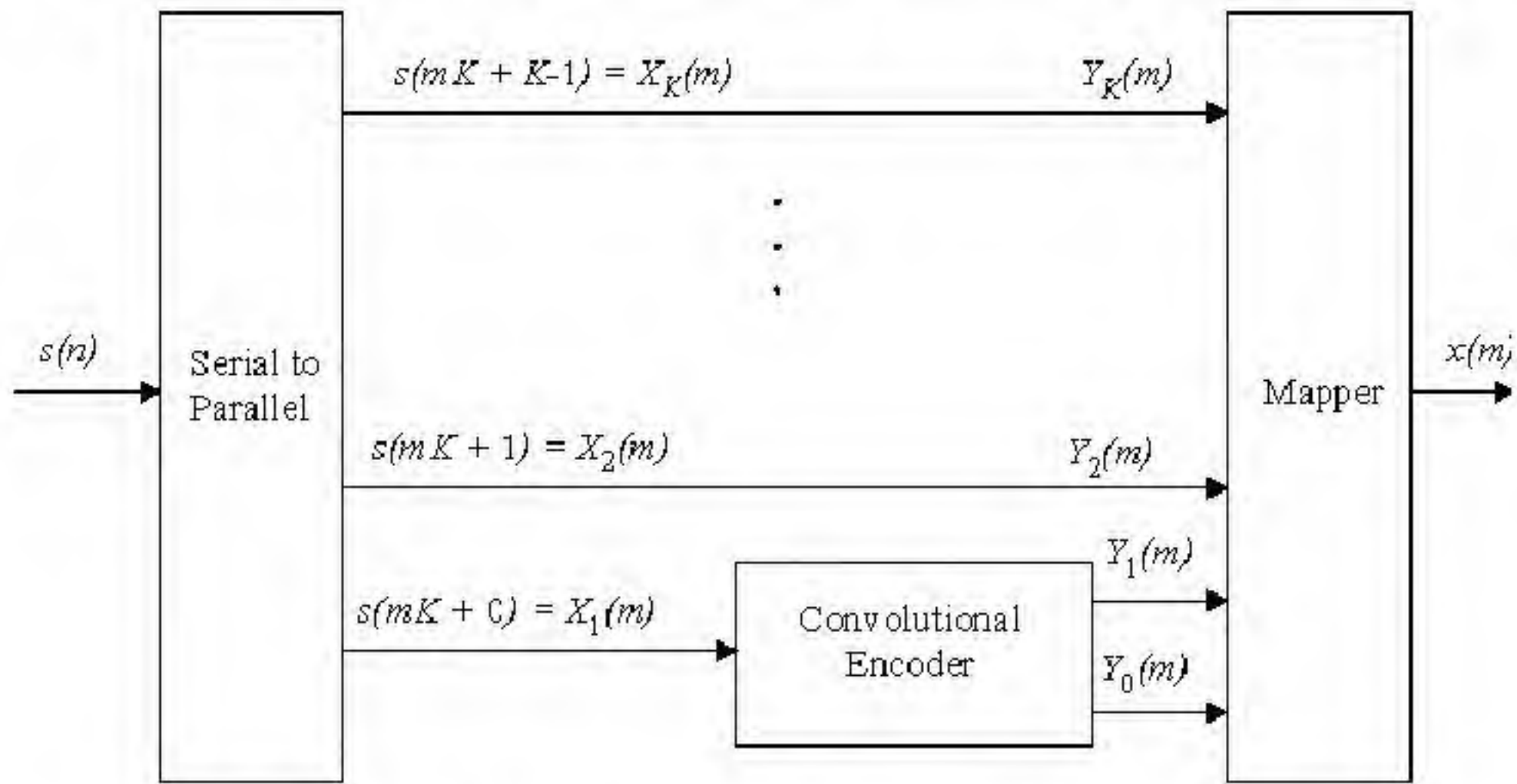


Figura 4.4 -Diagrama de blocos do codificador TCM

O fluxo de bits do *scrambler*  $s(n)$  deverá ser convertido numa palavra paralela de  $K$ -bit no símbolo  $m$ th e processada pelo codificador convolucional. A palavra de  $K+1$ -bit deverá ser mapeada para um dos níveis  $2^{K+1}$  pré-determinados formando  $x(m)$ .

A figura seguinte mostra um codificador convolucional, onde  $T_s$  é o atraso de um símbolo, " $\oplus$ " é o OU Exclusivo binário e " $\otimes$ " é o AND binário.

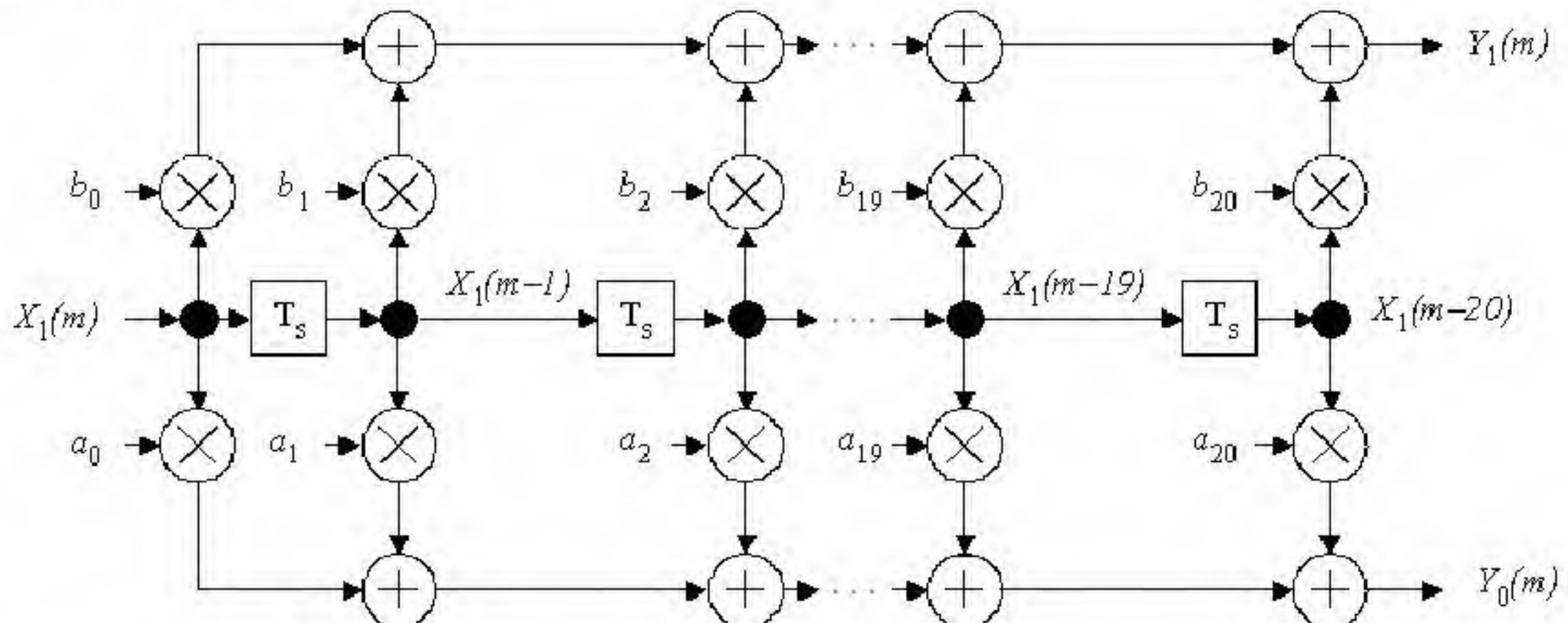




Figura 4.5 -Diagrama de blocos do codificador convolucional

Os bits  $K+1$   $Y_K(m), \dots, Y_1(m), Y_0(m)$  deverão ser mapeados para um nível  $x(m)$ . A tabela seguinte mostra esse mapeamento.

Tabela 4.1 -Mapping of bits to PAM levels

$Y_3(m)$	$Y_2(m)$	$Y_1(m)$	$Y_0(m)$	$X(M)$ 16-PAM
0	0	0	0	$-15/16$
0	0	0	1	$-13/16$
0	0	1	0	$-11/16$
0	0	1	1	$-9/16$
0	1	0	0	$-7/16$
0	1	0	1	$-5/16$
0	1	1	0	$-3/16$
0	1	1	1	$-1/16$
1	1	0	0	$1/16$
1	1	0	1	$3/16$
1	1	1	0	$5/16$
1	1	1	1	$7/16$
1	0	0	0	$9/16$
1	0	0	1	$11/16$
1	0	1	0	$13/16$
1	0	1	1	$15/16$

O diagrama de blocos do “channel precoder” é mostrado na figura seguinte, onde  $T_s$  é o tempo de atraso de um símbolo.

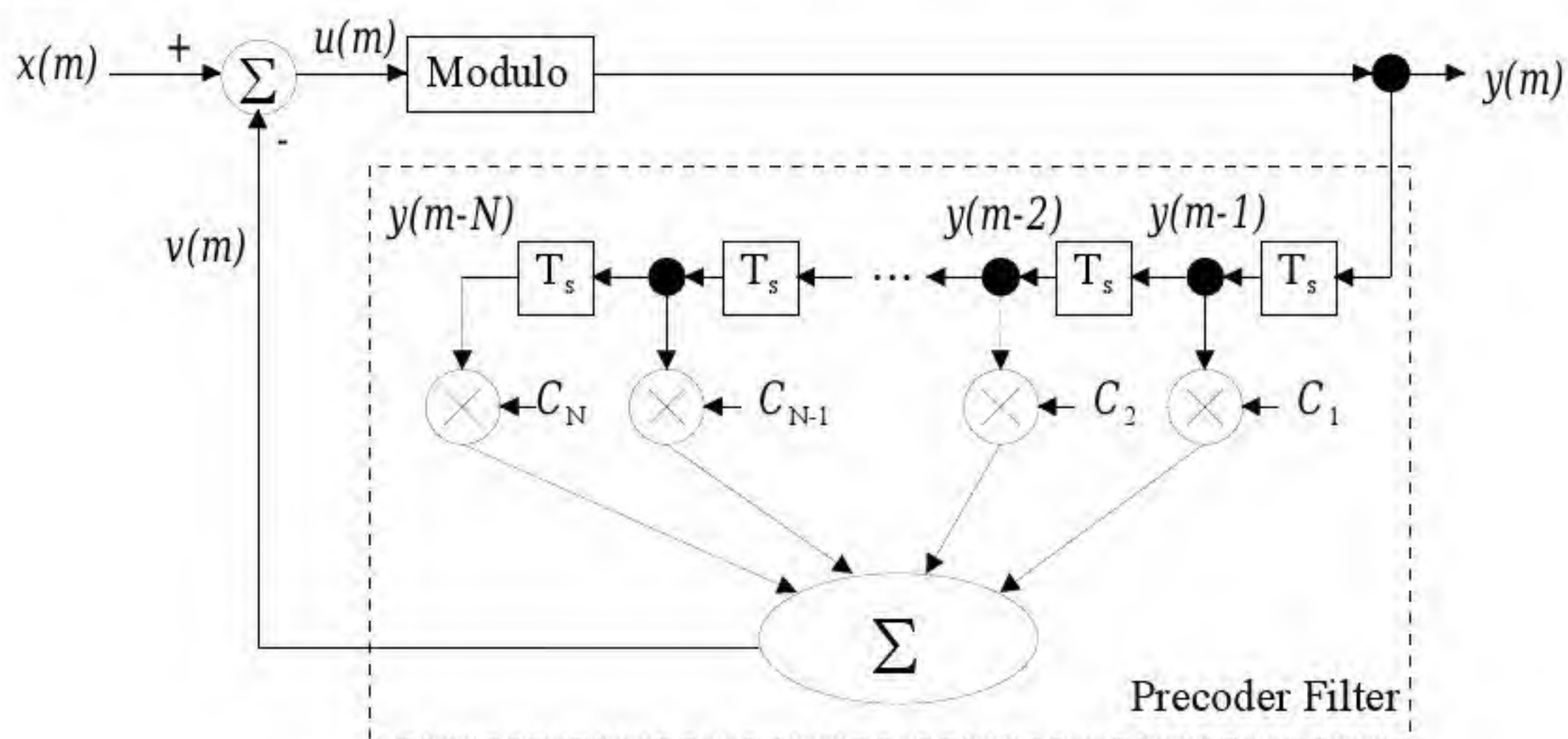


Figura 4.6 - Diagrama de blocos do “channel precoder”

## 4.2 Camada PMS-TC

A figura seguinte mostra a estrutura de trama de SHDSL. A dimensão de cada bloco de dados é definida por  $k = 12(i + n \times 8)$  bits.

O débito dos dados do utilizador é dado por:  $n \times 64 + i \times 8$  kbit/s, onde  $3 \leq n \leq 36$  e  $0 \leq i \leq 7$ . O valor de  $i$  é negociado durante a inicialização e aplica-se a todos os valores de  $n$ .



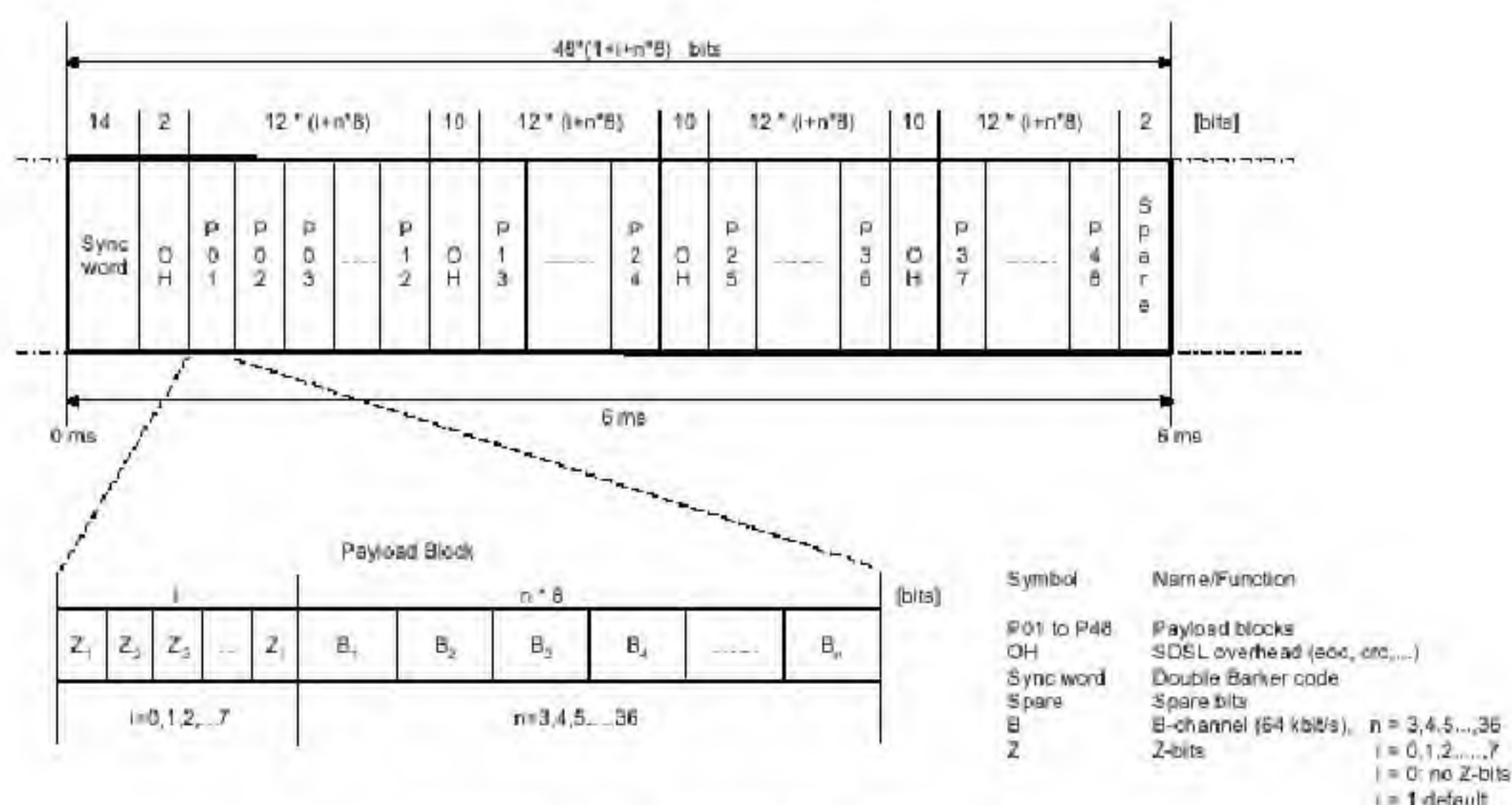


Figura 4.7 - Estrutura de trama SHDSL

Na trama existe um bloco de sincronismo composto por 14 bits, um cabeçalho de 32 bits dividido em 4 partes e 4 blocos de informação subdivididos em 12 sub-blocos. Podem ainda existir bits de enchimento ou não, se o modo de funcionamento for plesiócrono. Uma das características do SHDSL é o modo de funcionamento síncrono em que ficam apenas 2 bits de reserva não usados no fim da trama (não se usam bits de enchimento).

As velocidades suportadas podem ser dadas pela expressão:  $n \times 64 + i \times 8 \text{ kbps}$  de que resulta num mínimo de 192 kbit/s até a um máximo de 2,312 Mbit/s, com incrementos de 8 kbit/s. No entanto este ajuste fino nem sempre é possível, por exemplo quando  $n = 36$  o valor de  $i$  é limitado a 0 ou 1.

O número de bits  $k$  de cada bloco de informação é dado por:  $k = 12 \times [i + (n \times 8)] \text{ bits}$

Na tabela 4.2 apresentam-se os ritmos de SHDSL.

Tabela 4.2 – Ritmos de SHDSL

Tipo de bits	Channel Type	Número de bits numa trama de 6 ms	Débito
Frame bits	Overhead	$48 / 48 \pm 2$	8 kbit/s
Payload bits	B-channel ( $n \times 64 \text{ kbit/s}$ ) ( $n = 3 \dots 36$ )	$n \times 48 \times 8$	$n \times 64 \text{ kbit/s}$
	Z-bits ( $i \times 8 \text{ kbit/s}$ ) ( $i = 0 \dots 7$ )	$i \times 48$	$i \times 8 \text{ kbit/s}$
Número total de bits na trama		$48 \times (1 + i + n \times 8)$	$(n \times 64 + i \times 8 + 8) \text{ kbit/s}$

Os valores mínimos e máximos do ritmo de linha são:

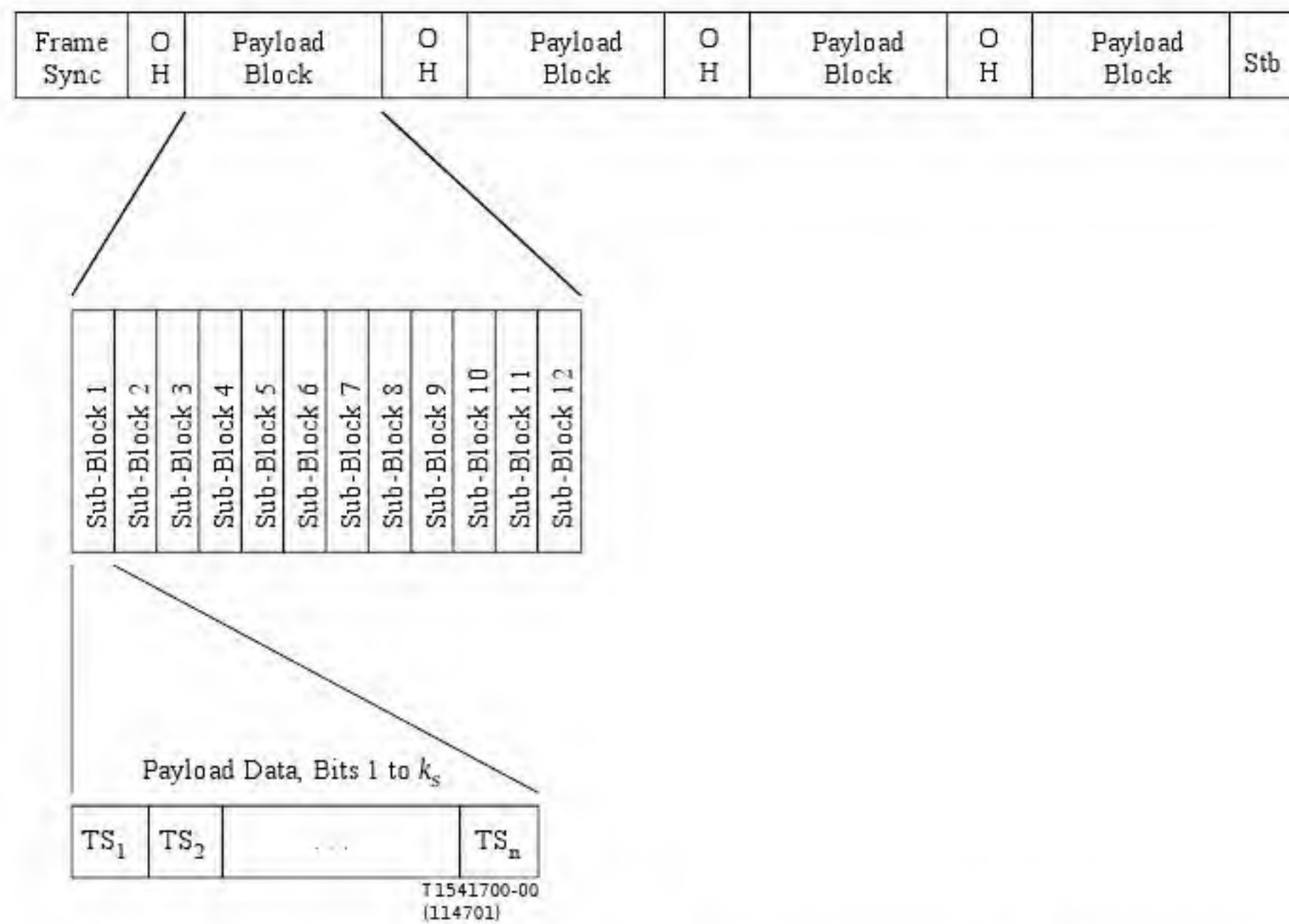
Mínimo ( $i = 0$ ;  $n = 3$ )  $192 \text{ kbit/s} + 8 \text{ kbit/s} = 200 \text{ kbit/s}$

Máximo ( $i = 1$ ;  $n = 36$ )  $2\,304 \text{ kbit/s} + 8 \text{ kbit/s} + 8 \text{ kbit/s} = 2\,320 \text{ kbit/s}$

### 4.3 Camada TPS-TC

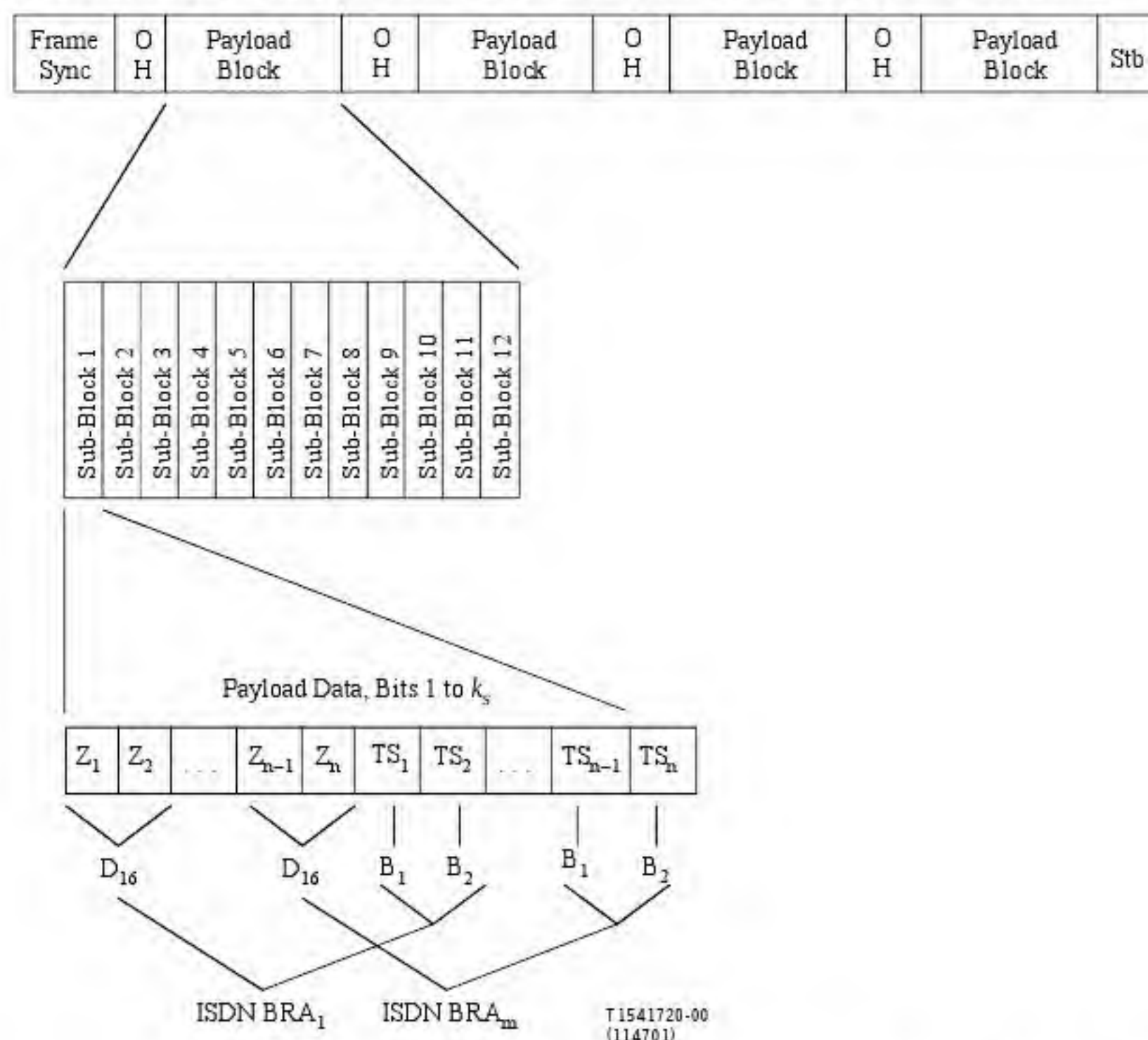
Na figura seguinte apresenta-se o formato da trama SHDSL alinhada para E1 e E1 fraccionário.





**Figura 4.8 - Trama SHDSL alinhada para E1/ E1 Fractional**

Na figura seguinte apresenta-se o Mapeamento de canais RDIS B e D em canais SHDSL.



**Figura 4.9 - Mapeamento de canais B ISDN e canais D em canais SHDSL**

O SHDSL foi pensado como um substituto do HDSL por isso suporta todas as aplicações que o HDSL suporta (RDIS AP,  $n \times 64$ , 2 Mbit/s não estruturados, etc.).

Uma das inovações do SHDSL é o suporte de transporte de ATM, podendo assim usar-se esta tecnologia da mesma forma que se usa no ADSL, integrando-a em DSLAMs, podendo oferecer serviços a 2 Mbit/s através da rede ATM, com todas as suas vantagens, nomeadamente o suporte de qualidade de serviço.



A camada TPS-TC para ATM é consistente com a recomendação I.432.1, devendo proporcionar as funções definidas nesta recomendação:

- Desacoplamento de ritmo entre a camada ATM e a camada PMS-TC síncrona (ou plesiócrons).
- Inserção/Extracção de células Idle.
- Inserção/Extracção do octeto HEC (Header Error Check) do cabeçalho.
- *Scrambling / descrambling* do campo de informação.
- Delineamento de célula no canal de recepção.
- Temporização de bit e serialização.

A Figura 4.10 mostra a interface lógica entre a camada ATM, a ATM-TC e a função SHDSL PMS-TC.

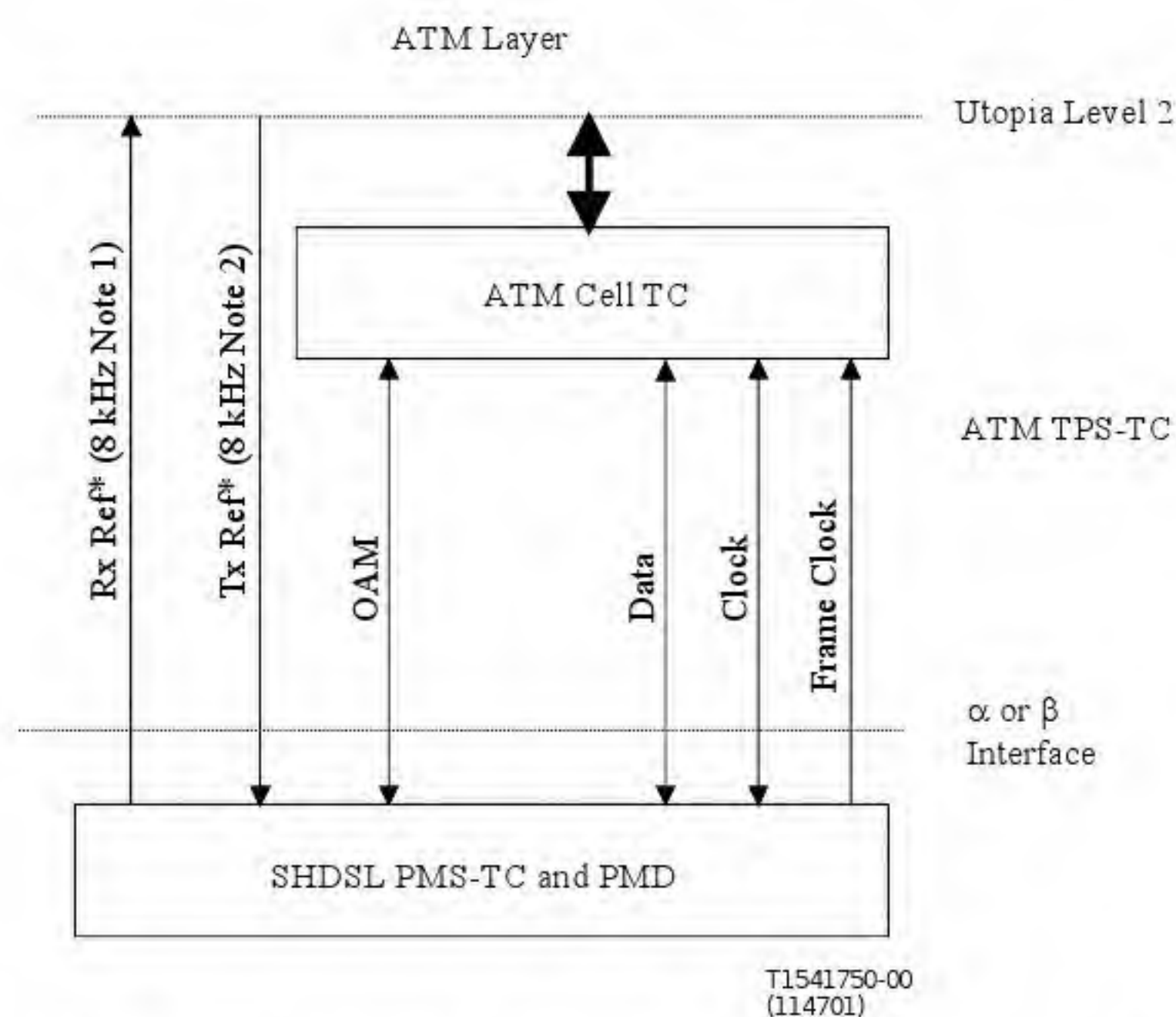


Figura 4.10 - Interface lógica entre a camada ATM-TC e a SHDSL PMS-TC

A camada PMS-TC proporciona um canal transparente para o ATM-TC e as células são mapeadas no campo de informação SHDSL octeto a octeto. Na Figura 4.11 exemplifica-se o mapeamento de células ATM em SHDSL.



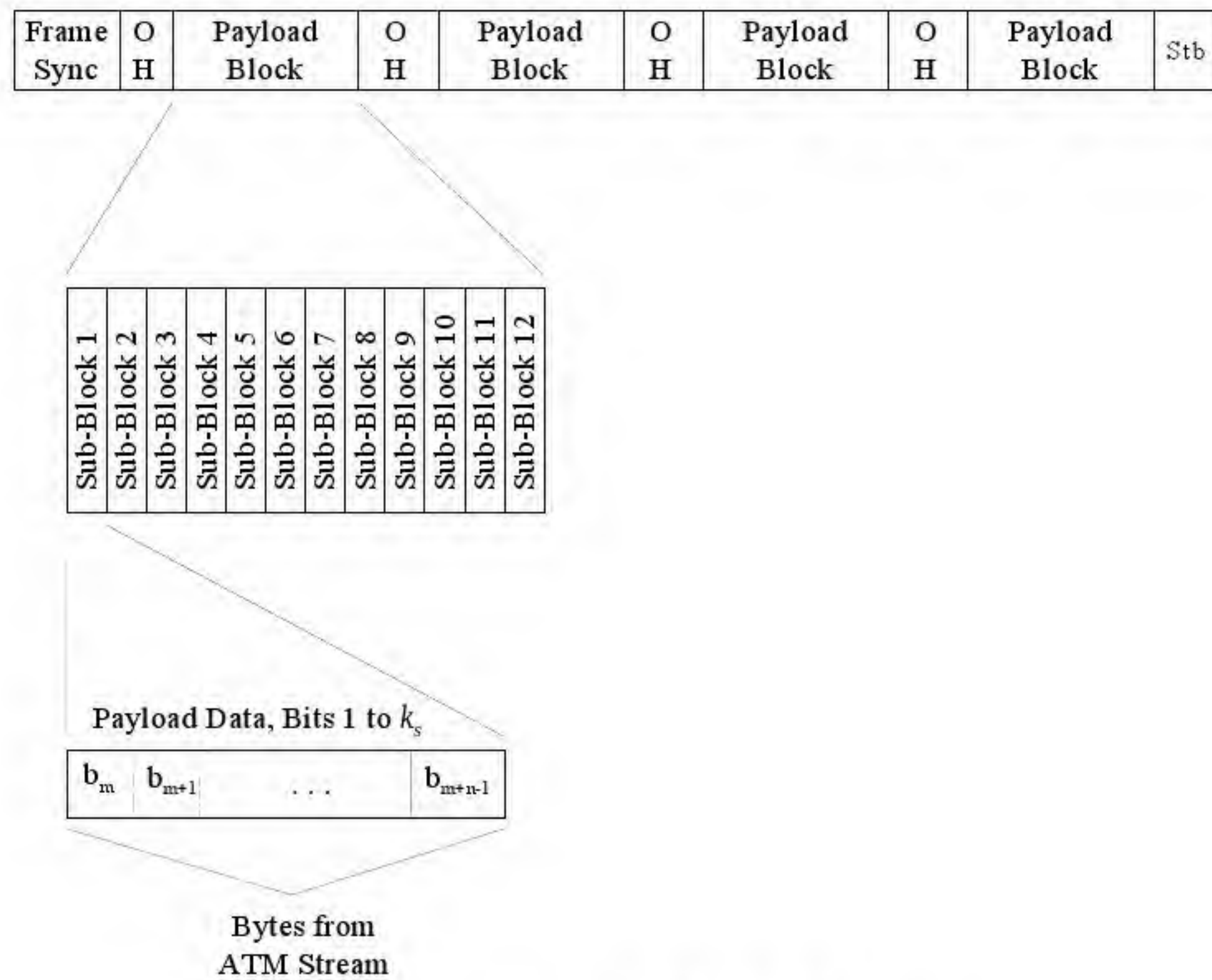


Figura 4.11 - Mapeamento de ATM em SHDSL



## 5 VDSL

O ITU-T definiu na G.993.1 [I7] as bases do VHDL (*Very-High-speed Digital Subscriber Line*). O ETSI definiu igualmente em TS 101 270-2 [E2] as especificações dos transceivers VDSL.

A tecnologia VDSL permite a transmissão de ritmos agregados assimétricos e simétricos de dezenas de Mbit/s em pares entrançados. Tal como as outras tecnologias DSL, o VDSL explora as infraestruturas de pares de cobre existentes originalmente instaladas para o serviço telefónico. Ao contrário do telefone, que ocupa apenas 4 KHz de banda e do ADSL/HDSL que usa aproximadamente 1 MHz, o VDSL usa 12 MHz da largura de banda. VDSL pode ser instalado a partir das centrais públicas ou de pontos intermédios perto dos clientes e ligados às centrais por fibra óptica.

O G.993.1 inclui um plano de frequências universal que permite serviços assimétricos e simétricos no mesmo grupo de pares, através da definição de bandas de transmissão ascendente e descendente. Tal como outras tecnologias DSL, o VDSL usa a G.994.1 para definir os débitos iniciais de transmissão.

A Figura 5.1 mostra a configuração de referência de VDSL, que é basicamente uma arquitectura *Fiber to the Node* (FTTN) com uma *Optical Network Unit* (ONU) localizada na rede de acesso de cobre existente (ou na central local). A primeira opção cobre o modelo arquitectural *Fiber-To-The-Cabinet* (FTTCab), a segunda é do tipo *Fiber-To-The-Exchange* (FTTEx). Os pares entrançados metálicos são usados para transporte dos sinais de/para as instalações dos utilizadores. Este modelo é válido para as opções de curta e longa distância do VDSL.

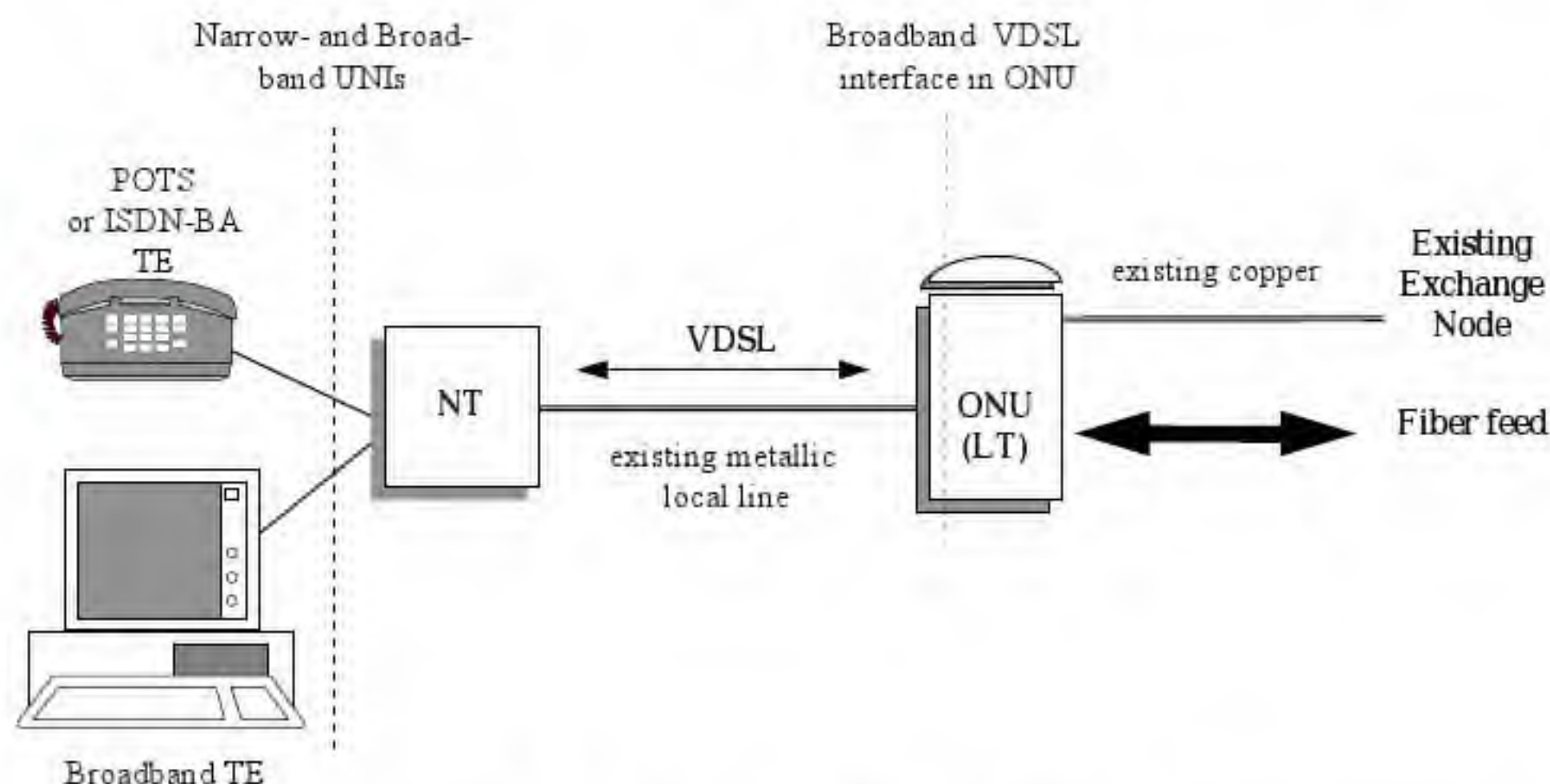


Figura 5.1 - Modelo genérico de referência VHDL

É usada modulação com múltiplas portadoras DMT, tal como em ADSL. O número máximo de sub-portadoras é de  $N_{sc} = 256 \times 2^n$ , onde  $n$  toma os valores de 2, 3 ou 4. Este número é estabelecido na inicialização, com base na configuração do sistema e da relação sinal/ruído dos sub-canais. O espaçamento entre sub-portadoras é de  $\Delta f = 4.3125 \text{ kHz}$ . Na maior parte dos casos o número de sub-portadoras usadas é inferior ao máximo permitido pela partição do espectro, podendo outras portadoras também não ser usadas para evitar interferências por exemplo com sistemas de rádio amador.

A configuração de referência de VDSL é representada na Figura 5.2. O modelo disponibiliza dois ou quatro canais de dados com débitos controlados pela operadora de rede, consistindo num ou dois canais de *descendente* e um ou dois canais de *ascendente*. Cada canal numa direcção pode ser configurado para latência alta e baixo BER (*Bit Error Rate*) ou latência baixa e alto BER. Os dois canais podem ser configurados com latências diferentes ou iguais, conforme for conveniente. Devido ao débito elevado e às condições da linha, o modelo assume que é usada uma técnica de modulação com *Forward Error Correction* (FEC) e entrelaçamento para combater os erros de transmissão. O modelo VDSL também prevê a transmissão de serviços sensíveis a atrasos, como vídeo e áudio.



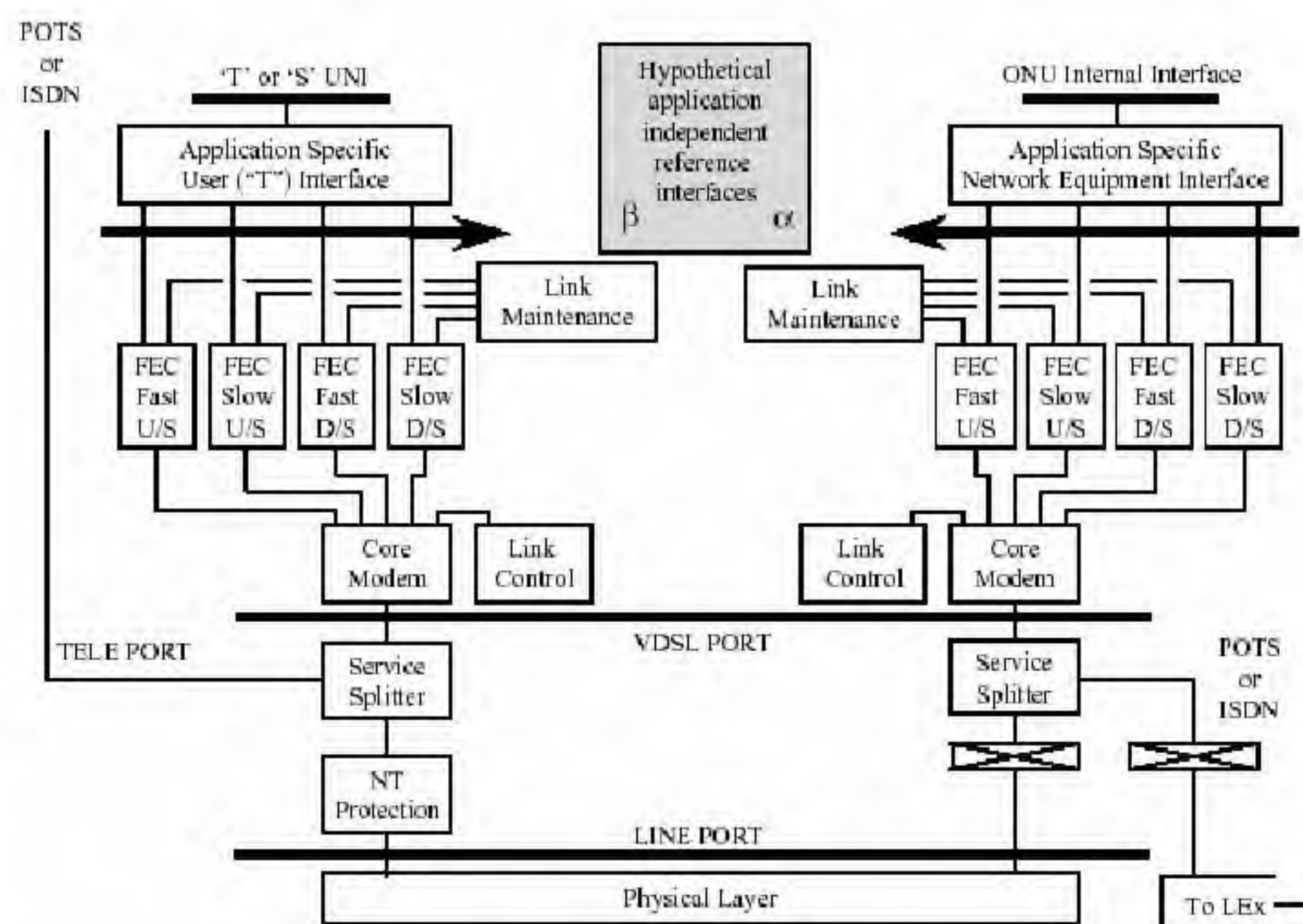
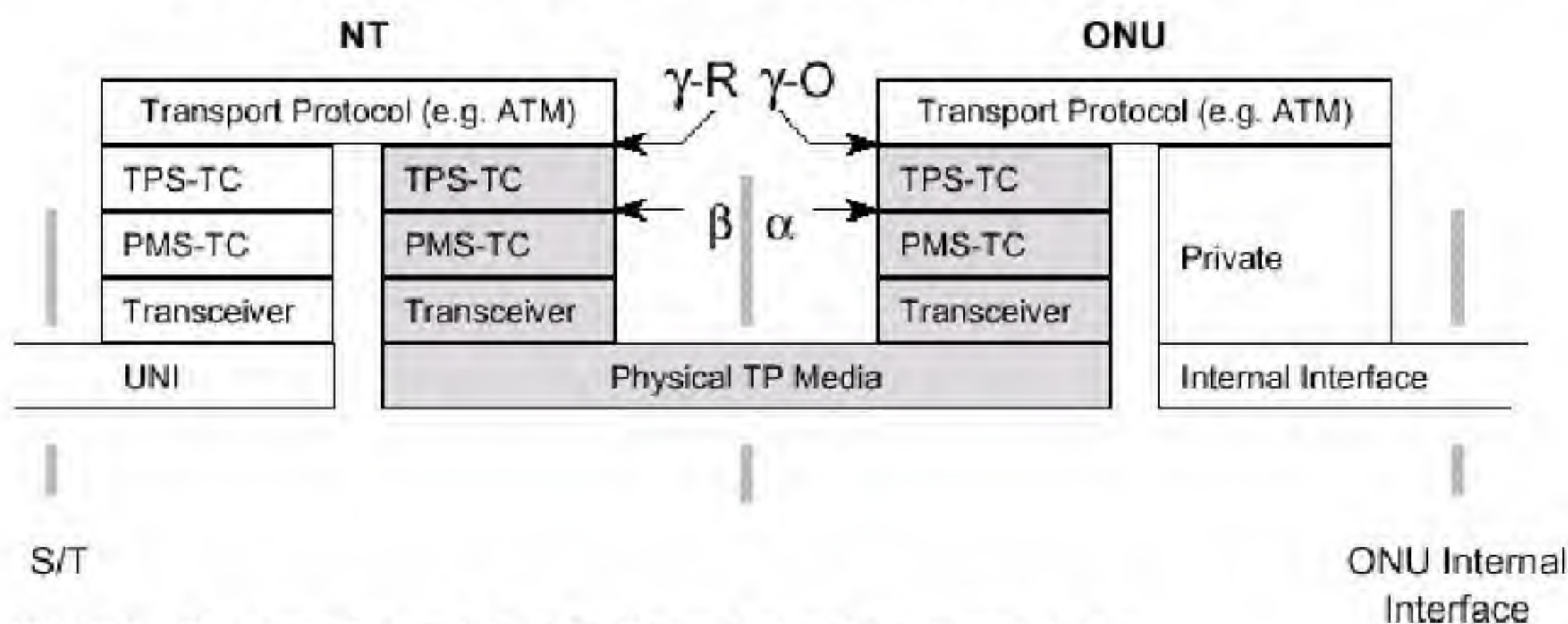


Figura 5.2 - Configuração de referência VDSL

São mostradas as interfaces  $\alpha$  e  $\beta$  da Interface Independente da Aplicação Hipotético, que apenas são necessárias para avaliação de performance. São também mostrados dois canais com latências diferentes (*Fast* e *Slow U/D*). Entre a central e o utilizador (NT- *Network Termination*) existe ainda um canal de Operação, Administração e Manutenção (OAM). Este canal integrado (*EOC - Embedded Operations Channel*) funciona em modo *full duplex* e a informação (*payload*) tem um débito típico de 64 kbit/s.

Na Figura 5.3 apresenta-se o modelo de referência de protocolos de VDSL, sendo definidas as seguintes camadas:

- camada de Convergência de Transmissão (*Transmission Convergence - TC*) que é dividida em duas sub-camadas, uma para o protocolo de transporte (*Transport Protocol Specific - TPS*) e outra para o meio físico (*Physical Media Specific - PMS*);
- camada dependente do Meio Físico (*Physical Medium Dependent - PMD*) mas independente da aplicação, faz a ponte com o meio físico, que é o cobre em sistemas xDSL.



TPS-TC - Transport Protocol Specific, Transmission Convergence Layer  
PMS-TC - Physical Media Specific, Transmission Convergence Layer

Figura 5.3: Camadas de protocolos em VDSL



Vários protocolos podem ser transportados em *VDSL* definidos em várias Camadas de Convergência de Transmissão (*TPS-TC*), que especificam os requisitos funcionais para o transporte de células *ATM* e contentores *STM* (*SDH*). Na Figura 5.4 são definidos os protocolos e vários pontos de referência da arquitectura *VDSL*.

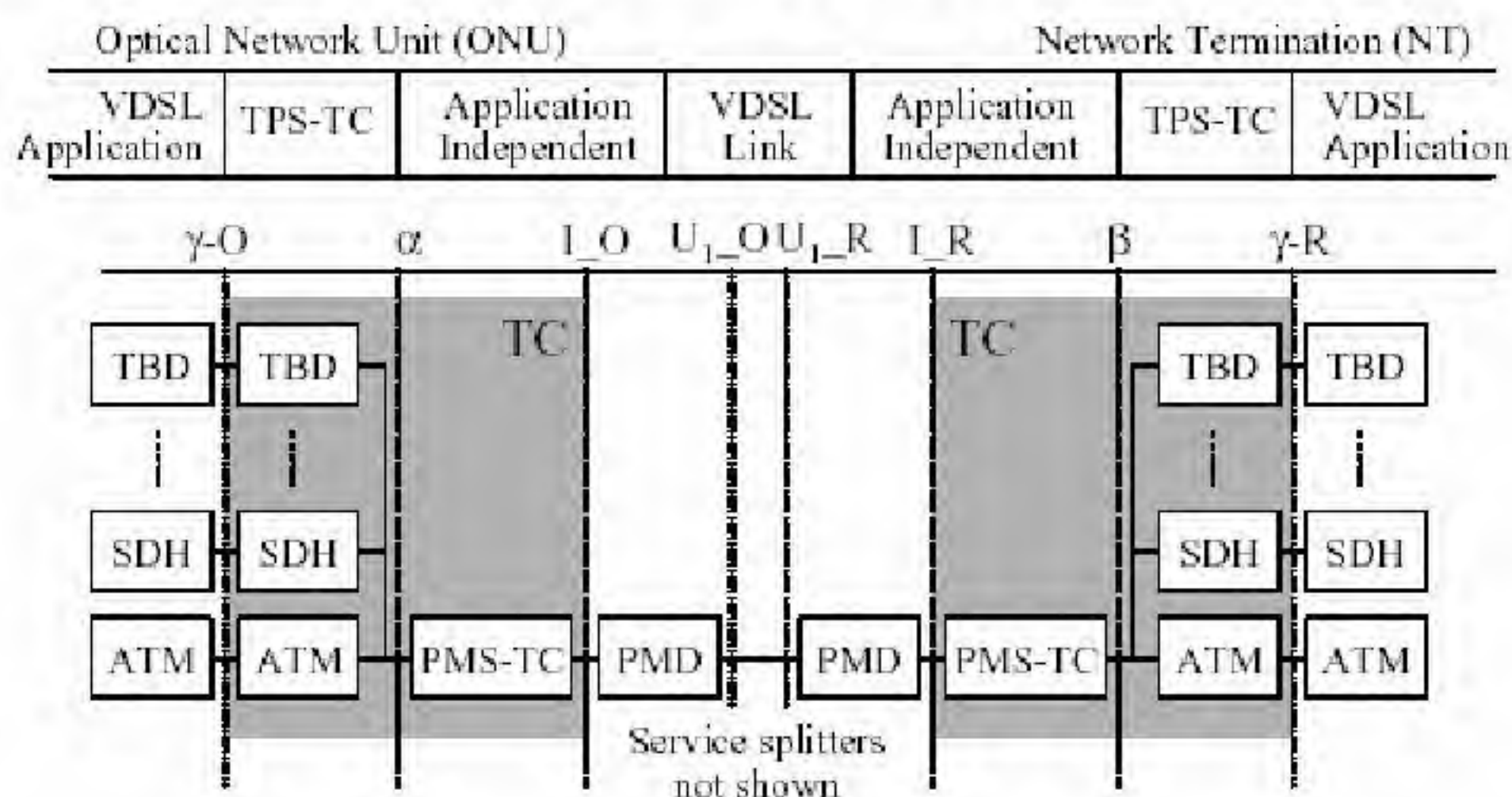


Figura 5.4: Pontos de referência na arquitectura *VDSL*

## 5.1 Plano de Frequências

Genericamente, o equipamento *VDSL* pode operar dentro de um valor mínimo e um máximo ( $f_L$  e  $f_H$ ), tal como definido na Figura 5.5, onde se representa a ocupação espectral na frequência.

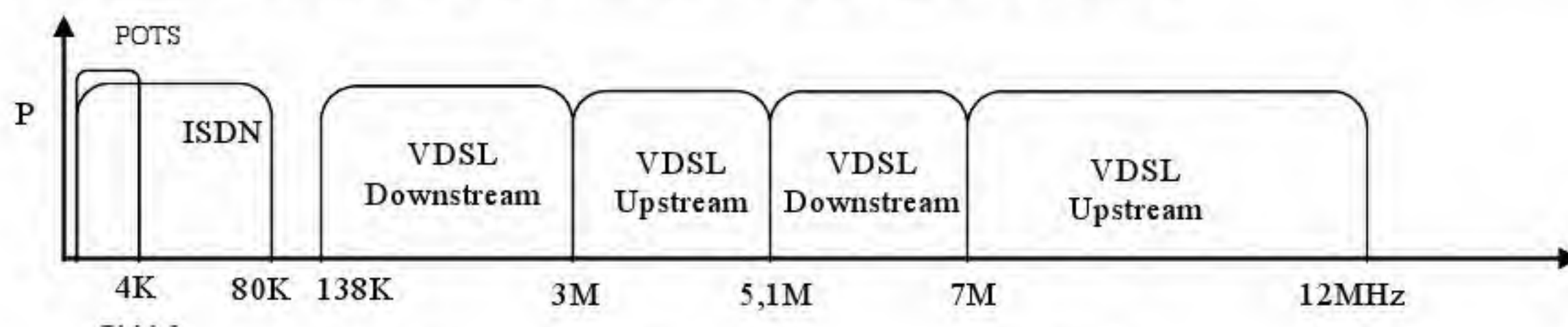


Figura 5.5: Plano de frequências para *VDSL*

O valor mínimo  $f_L$  é escolhido de forma a preservar os sistemas *DSL* já existentes, como o ADSL e o HDSL, no entanto não está excluída a hipótese de utilizar toda a banda inferior para o *VDSL*, se não houverem interferências significativas. Devido a estas interferências está ainda previsto que o *VDSL* possa funcionar em frequências superiores ao ADSL, a partir dos 1,1 MHz. Os valores genéricos encontram-se em  $f_L = 300$  kHz e  $f_H = 30$  MHz.

O ITU-T define que *VDSL* deverá usar um sistema para transmissão simultânea nos dois sentidos com divisão na frequência FDD (*Frequency Division Duplexing*), ao contrário do ADSL que também permite o uso de cancelamento de eco. Esta divisão é também feita de uma forma diferente da tradicional, pois tem duas bandas no sentido ascendente e outras duas no sentido descendente. São definidos os seguintes perfis de ritmos assimétricos em *VDSL*:

Tabela 5.1 - Perfis *VDSL* de ritmos assimétricos

Perfil	Payload Rate (Mbit/s)	
	Descendente	Ascendente
A1	6,7	2,2
A2	9,6	2,2
A3	15,4	3,4



A4	25,9	4,2
----	------	-----

São igualmente definidos os seguintes perfis de ritmos simétricos em VDSL:

Tabela 5.2 - Perfis VDSL de ritmos simétricos

Perfil	Payload Rate (Mbit/s)
S1	6,7
S2	9,5
S3	15,5

## 5.2 Camada PMD

Na figura Figura 5.6 representa-se o modelo funcional da sub-camada PMD.

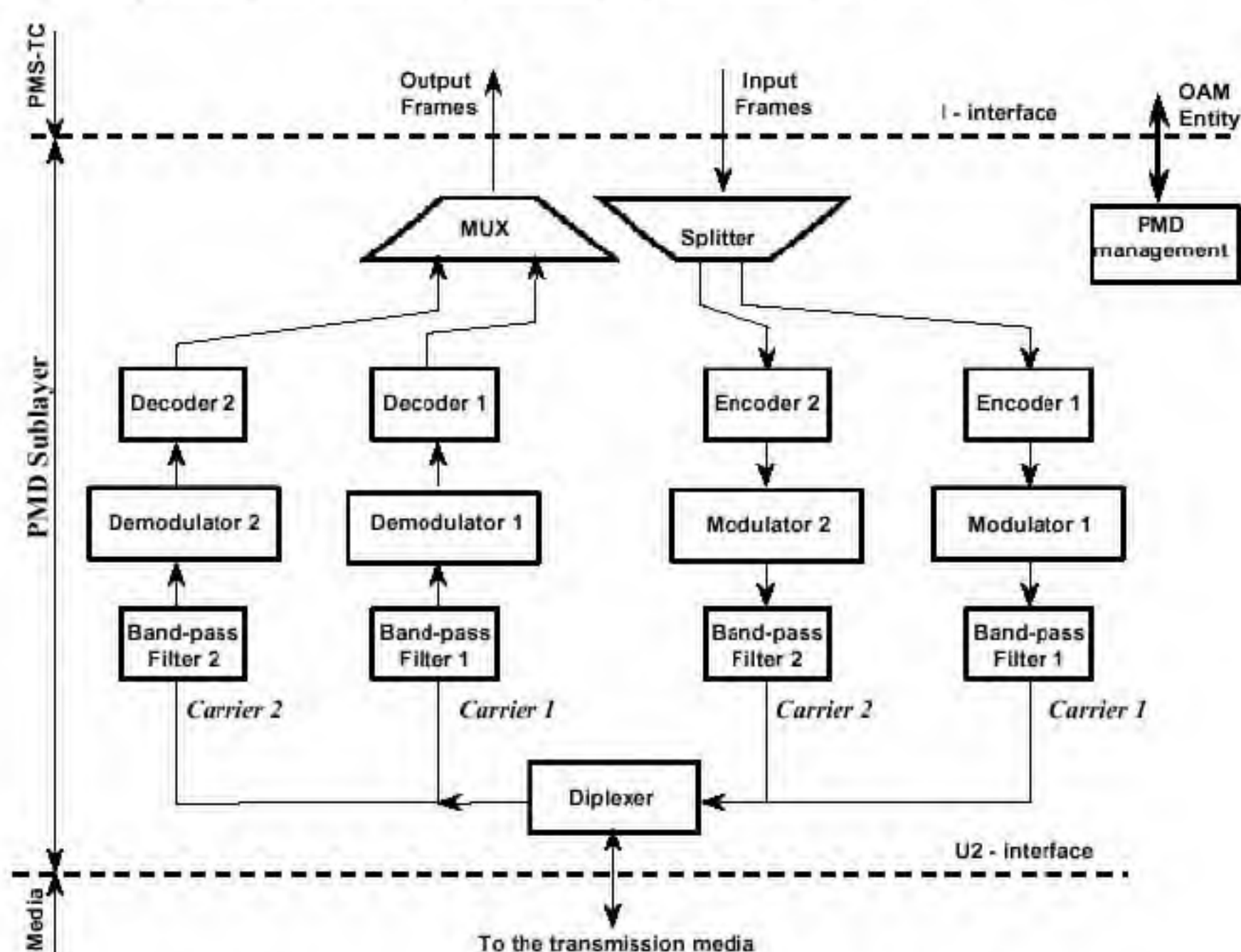


Figura 5.6 - Modelo funcional da sub-camada PMD de VDSL

Na Figura 5.7 representa-se a trama da sub-camada PMD.



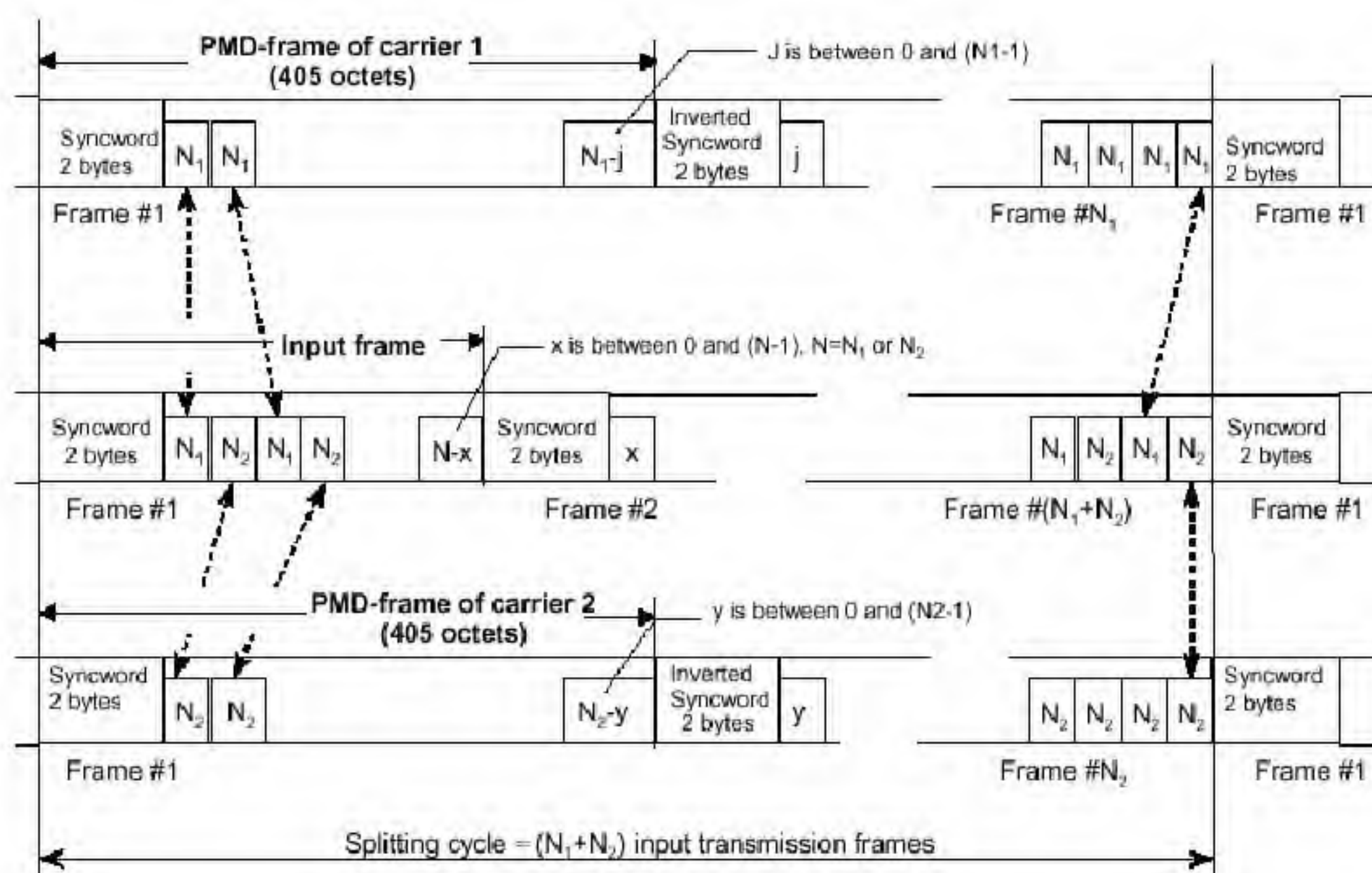


Figura 5.7 - Formato da trama PMD de VDSL

### 5.3 VDSL2

O ITU-T aprovou em 2005 a norma VDSL2 (G.993.2), que permite débitos até 100 Mbps em ambos os sentidos, ascendente e descendente. Assim, esta norma proporciona débitos da ordem dos que são obtidos com acessos de fibra óptica.

VDSL2 oferece aos operadores uma tecnologia que é interoperável com equipamento DSL existente, o que permite acelerar a migração dos clientes com tecnologias de menores débitos para VDSL2. Esta tecnologia trabalha quer com redes ATM quer com redes IP.

VDSL2 é considerado por muitos operadores como um complemento para a Fiber to the Premises (FTTP), onde as linhas ópticas da fibra são usadas para ligar as instalações de blocos do escritório ou de apartamentos à rede pública, usando cabos de cobre com VDSL2 dentro do edifício para proporcionar serviços de alto débito.

A norma G.993.2 define diferentes perfis de largura de banda para VDSL2: larga (30 MHz), meio-largo (17 MHz), médio (12 MHz), e estreito (8.5 MHz). Alguns perfis têm diferente níveis de potência. VDSL2 pode transmitir até 100 Mbps em linha muito curtas (300 m), baixando até aos débitos de ADSL2+ para grandes comprimentos de linha.



## 6 ADSL

A tecnologia ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) deriva o seu nome da assimetria de transmissão nos canais ascendente e descendente, adaptada à assimetria do fluxo de informação das aplicações mais comuns de acesso à rede *Core*, caracterizadas por um débito muito superior no canal descendente (da rede *core* para a rede de acesso).

Desenvolvido no início dos anos 90 logo após o aparecimento do *HDSL*, o ADSL está especialmente vocacionado para o mercado residencial. Tal como o nome indica, com o ADSL a transmissão de dados é feita de modo assimétrico, sendo possível atingir ritmos até 8 Mbit/s no sentido descendente e 1 Mbit/s no sentido ascendente. Além da assimetria na transmissão de dados, o ADSL apresenta também a característica particular de permitir simultaneamente o serviço telefónico analógico normal.

Esta tecnologia está especialmente adaptada ao modelo de navegação na *Internet*, onde os *download* são bastante superiores aos *uploads*, o que aliado ao facto de poder ser aplicado na maioria dos comuns pares de cobre do lacete local, torna esta tecnologia uma forte competidora para o fornecimento do acesso de banda larga à *Internet*.

A normalização do ADSL foi um passo extremamente importante para o seu desenvolvimento e disseminação pois só assim se garante a interoperabilidade entre diferentes sistemas. As primeiras normas desta tecnologia datam de 1995 no ANSI (*American National Standards Institute*) com o Grupo de Trabalho *T1E1.4* que aprovou o *ANSI Standard T1.413*. Desde a sua aprovação, esta norma já incorporou diversos Anexos sendo um dos mais importantes o que foi proposto pelo ETSI (*European Technical Standards Institute*) e que reflecte os requisitos europeus.

Dois dos aspectos mais significativos desta norma é que ela estabelece o *DMT* como o método preferencial de modulação a ser empregue e uma rede ATM de suporte para interligar os servidores.

Em 1994 foi criado o ADSL Forum para promover a divulgação da tecnologia e para facilitar o desenvolvimento de arquitecturas, protocolos e *interfaces* para a maioria das aplicações. Actualmente, o ADSL Forum tem já mais de 200 membros que representam fabricantes de *hardware* (*chips* e *modems*), prestadores de serviços, etc.

Em Junho de 1999, foi aprovado o standard do *G.Lite* (ou *DSL-Lite* ou *Universal DSL*) pelo ITU-T. Foi criado o *Universal ADSL Group* que pretende estabelecer um *standard* comum para toda a indústria partindo do *G.Lite*. Este grupo é formado pelos gigantes da indústria dos computadores e pelos líderes da indústria de telecomunicações.

### 6.1 Características básicas

As vantagens associadas ao ADSL são significativas e estabelecem uma diferenciação positiva clara em relação a outras tecnologias, como em seguida se apresenta:

**Serviço telefónico (POTS):** O serviço fixo telefónico está sempre assegurado, mesmo quando há falhas de energia, devido à existência do *splitter*.

**Ritmo:** O ADSL é uma boa tecnologia para o acesso de banda larga porque é capaz de garantir débitos apropriados a todos os tipos de aplicações, desde as aplicações de vídeo ao acesso à *Internet*.

**Conectividade:** Em ADSL, a ligação à rede é permanente, não sendo necessário esperar pelo estabelecimento da ligação telefónica para se poder consultar o *email* ou para navegar na *Internet*.

**Facilidade de utilização:** Após a instalação e configuração do acesso, o ADSL é de fácil utilização e não requer nenhum conhecimento específico ao utilizador.

**Fiabilidade:** A rede de pares de cobre que interligam os operadores telefónicos aos seus clientes é uma infraestrutura fiável, com tempos de quebra de serviço muito baixos.



**Segurança:** O ADSL utiliza a rede pública telefónica pelo que oferece uma ligação privada ponto-a-ponto entre o cliente e o operador telefónico. O meio físico é dedicado, o que é importante para garantir a privacidade e a segurança das transacções electrónicas.

**Tecnologia com provas dadas:** Milhões de pessoas já aderiram ao serviço ou participaram em ensaios piloto, sendo a opinião geral que o ADSL representa um salto qualitativo face às tecnologias tradicionais.

**Serviços:** A capacidade proporcionada pelo ADSL permite transportar serviços de banda larga e multimédia até aos clientes. O acesso à *Internet* a débitos elevados surge como o serviço que, no curto prazo, impulsionará o desenvolvimento da tecnologia. Numa fase posterior o ADSL poderá ser usado para, além dos dados, suportar de modo eficiente várias chamadas de voz, tirando partido do suporte de qualidade de serviço (QoS) do ATM.

## 6.2 Ritmos de transmissão

As taxas de transmissão que se conseguem quer no sentido descendente, quer no ascendente, dependem de factores como o comprimento do fio de cobre e o seu diâmetro, as interferências cruzadas de sinais entre os diversos fios ou a presença de alguns tipos de equipamentos limitadores da frequência ao longo das linhas.

Na Figura 6.1 mostra-se a largura de banda descendente e ascendente em função da distância para uma linha de 26 AWG.

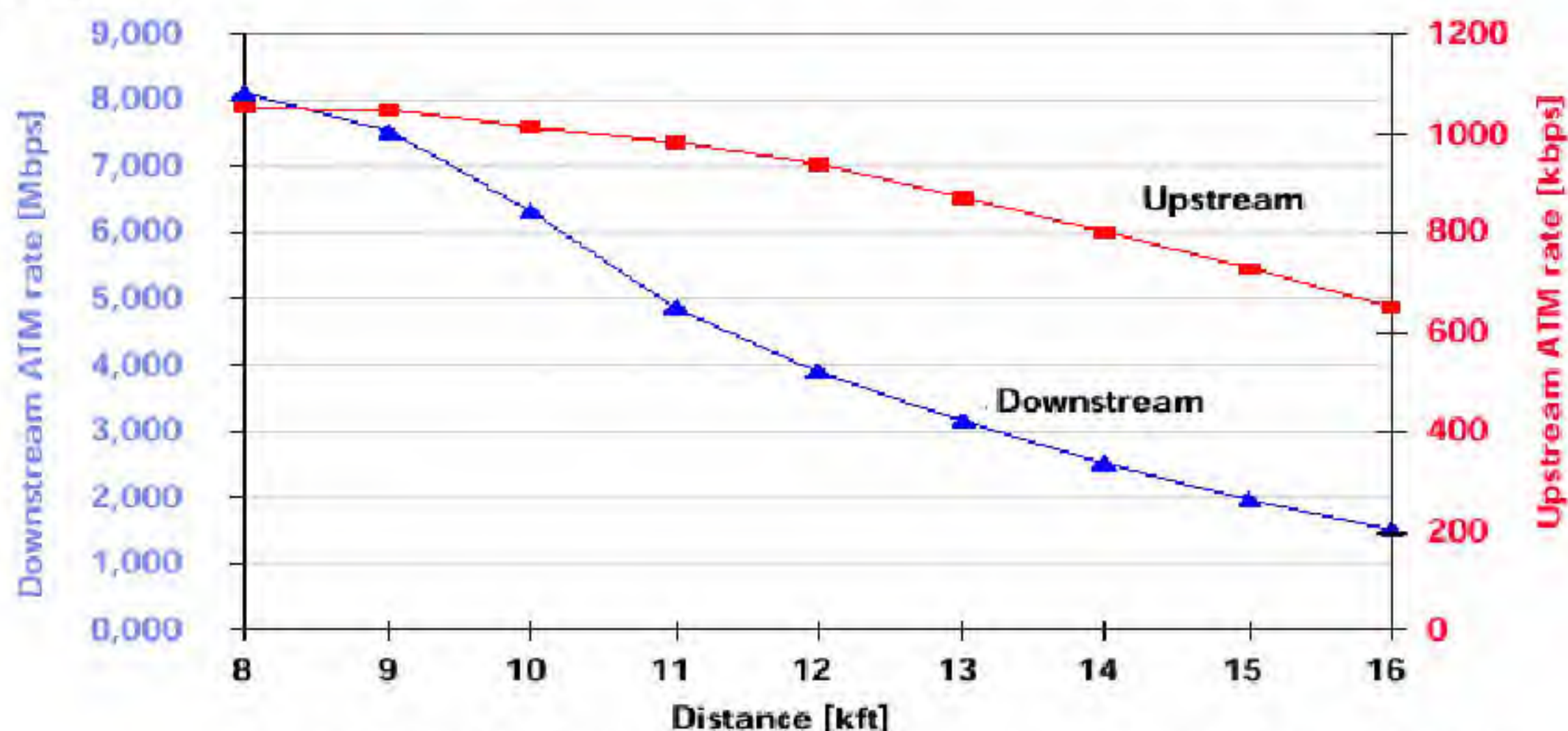


Figura 6.1 - 26AWG; 6dB noise margin; Fast mode (8Kft=2,4Km, 16Kf=4,8Km)  
(Fonte : Esprit Project 25615 SALOMON, Dez. 2000)

A recomendação **G.992.1** define os canais de suporte ADSL para transporte de dados como múltiplos inteiros de 32 kbit/s, de 32 kbit/s a 6144 kbit/s no sentido descendente e de 32 kbit/s a 640 kbit/s no sentido ascendente.

Os débitos ADSL normalmente oferecidos pelos operadores têm várias configurações, com diferentes capacidades e preços. São apresentados alguns valores típicos na tabela seguinte.

Ritmo Descendente (Kbit/s)	Ritmo Ascendente (Kbit/s)
512	128
768	128
1024	256



### 6.3 ADSL Forum

O ADSL Forum foi criado com a missão de desenvolver a tecnologia ADSL, nomeadamente através da especificação de arquitecturas, interfaces e protocolos envolvendo esta tecnologia.

No relatório técnico TR-001 do ADSL Forum [A1] é apresentado o Modelo de Referência do Sistema ADSL e definidas todas as interfaces relevantes presentes na Rede de Acesso ADSL.

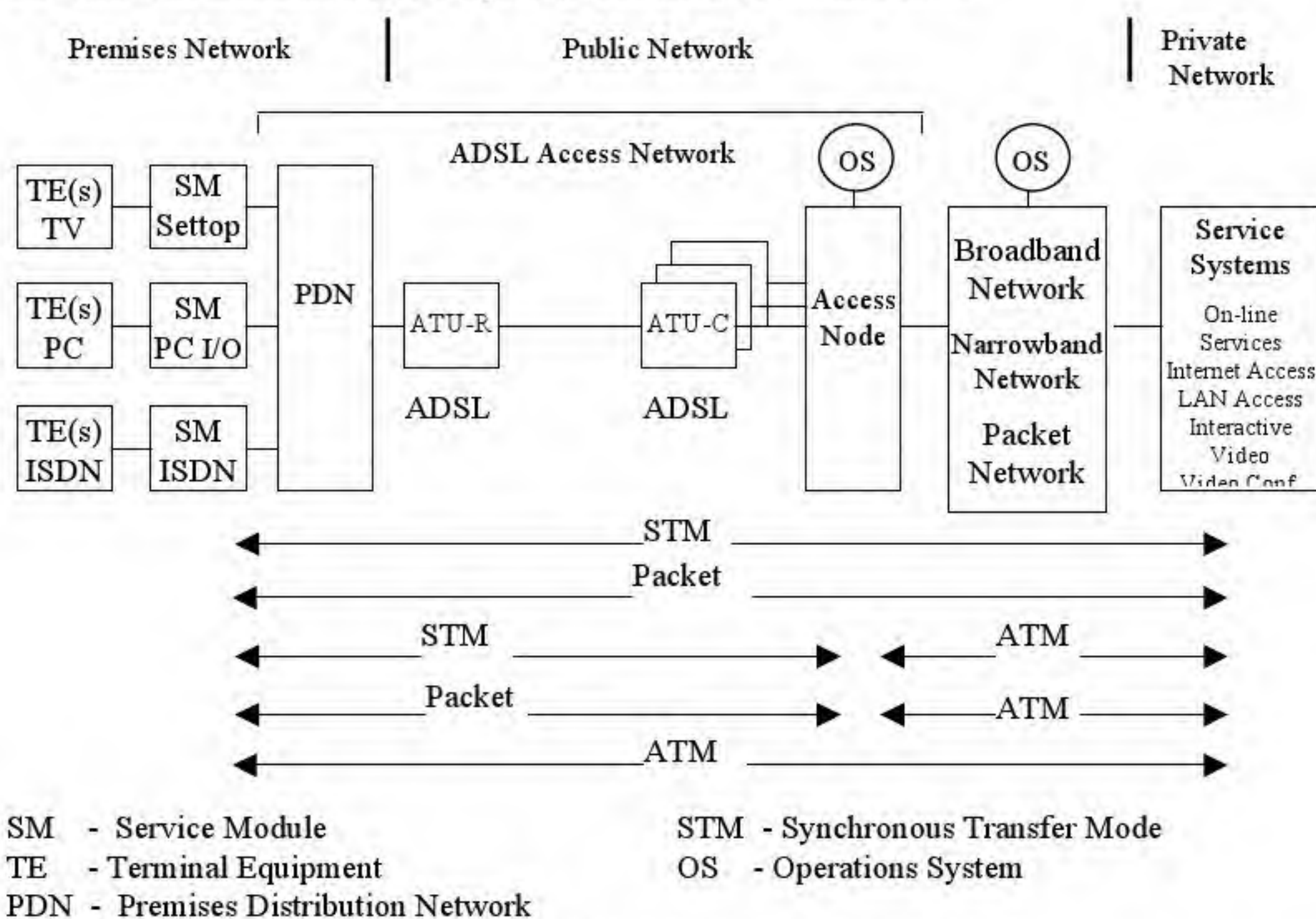


Figura 6.2 - Modelo geral do sistema ADSL

Nesta figura são igualmente sugeridas várias configurações de transporte que a tecnologia pode encontrar, sugerindo uma evolução de *Synchronous Transfer Mode* (STM) para *Asynchronous Transfer Mode* (ATM).

Na figura 6.3 é apresentado o modelo de referência do sistema ADSL, onde são descritos os diferentes módulos e interfaces do sistema.



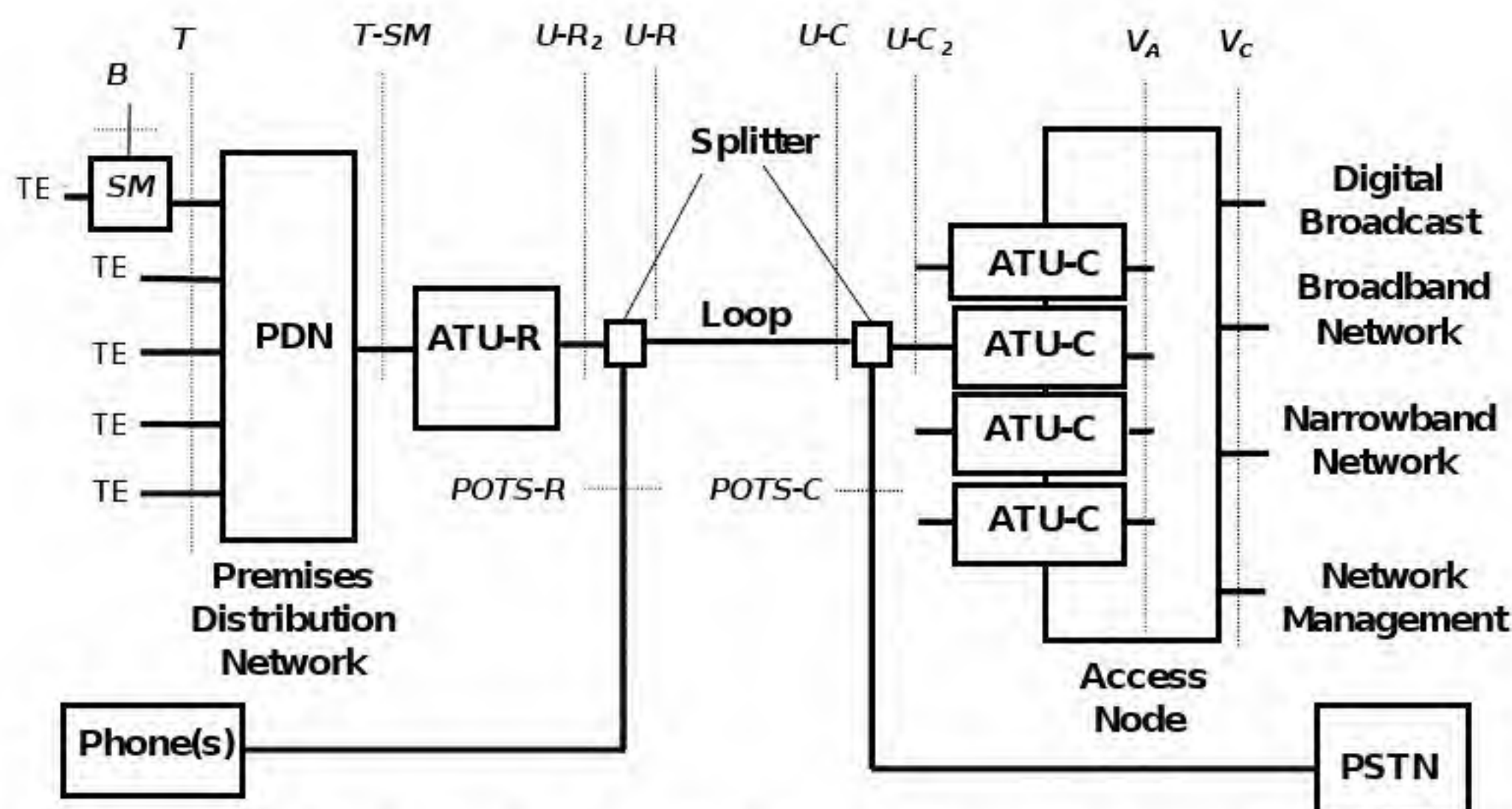


Figura 6.3 - Modelo de Referência do Sistema ADSL (ADSL Forum TR-001)

B: Entrada de dados auxiliar (p.ex. de satélite) para o *Service Module* (p. ex. uma Set Top Box).

SM: *Service Module*: Efectua funções de adaptação de terminal (p. ex., Set Top Boxes, interface para PC, LAN router).

T: Interface entre a rede de assinante (PDN) e *Service Modules*. Pode ser a mesma que T-SM quando a rede é uma cablagem passiva ponto a ponto. Note-se que a interface T pode desaparecer no nível físico quando a ATU-R é integrada no *Service Module*.

T-SM: Interface entre a ATU-R e a rede de assinante (PDN). Pode ser a mesma que T quando a rede é uma cablagem passiva ponto a ponto. Uma ATU-R pode ter mais de um tipo interface T-SM (p. ex. uma conexão T1/E1 ou Ethernet). A interface T-SM pode ser integrada no *Service Module*.

ATU-R: Unidade de transmissão ADSL no lado do cliente. (pode ser integrado no SM).

ATU-C: Unidade de transmissão ADSL no lado da rede. (pode ser integrado no Access Node).

POTS-R: Interface entre telefone e *splitter* no lado do cliente.

POTS-C: Interface entre PSTN e *splitter* no lado da rede.

PDN: *Premises Distribution Network*: Sistema para ligar a ATU-R aos *Service Modules*. Pode ser ponto a ponto ou multiponto; pode ser cablagem passiva ou uma rede activa. A rede multiponto pode ser bus ou estrela.

Splitter: Filtros que separam os sinais de alta frequência (ADSL) e de baixa frequência (POTS) quer no lado da rede quer do terminal. O *splitter* pode ser integrado no ATU, fisicamente separado do ATU, ou dividido entre o filtro passa-alto e o filtro passa-baixo, com o passa-baixo fisicamente separado da ATU.

U-C: Interface entre o Splitter Loop e POTS no lado da rede.

U-C2: Interface entre Splitter POTS e ATU-C.

U-R: Interface entre Loop e Splitter POTS no lado do cliente.

U-R2: Interface entre Splitter POTS e ATU-R.

V<sub>A</sub>: Interface lógica entre ATU-C e Access Node.

V<sub>C</sub>: Interface entre Access Node e rede.

A Figura 6.4 apresenta uma outra perspectiva do modelo de referência do ADSL Forum, onde se destaca a função dos Splitters na multiplexagem do serviço telefónico e de dados.



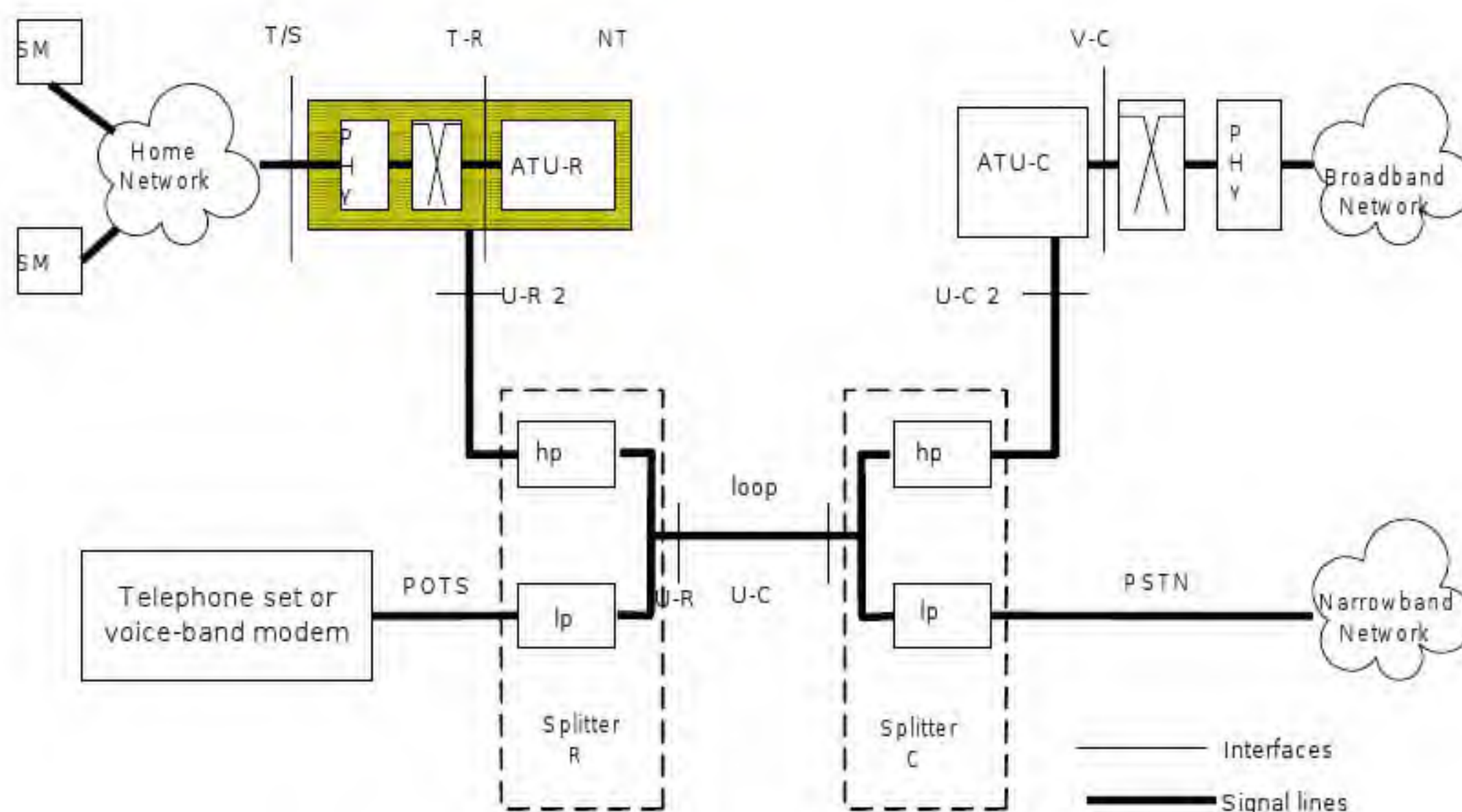
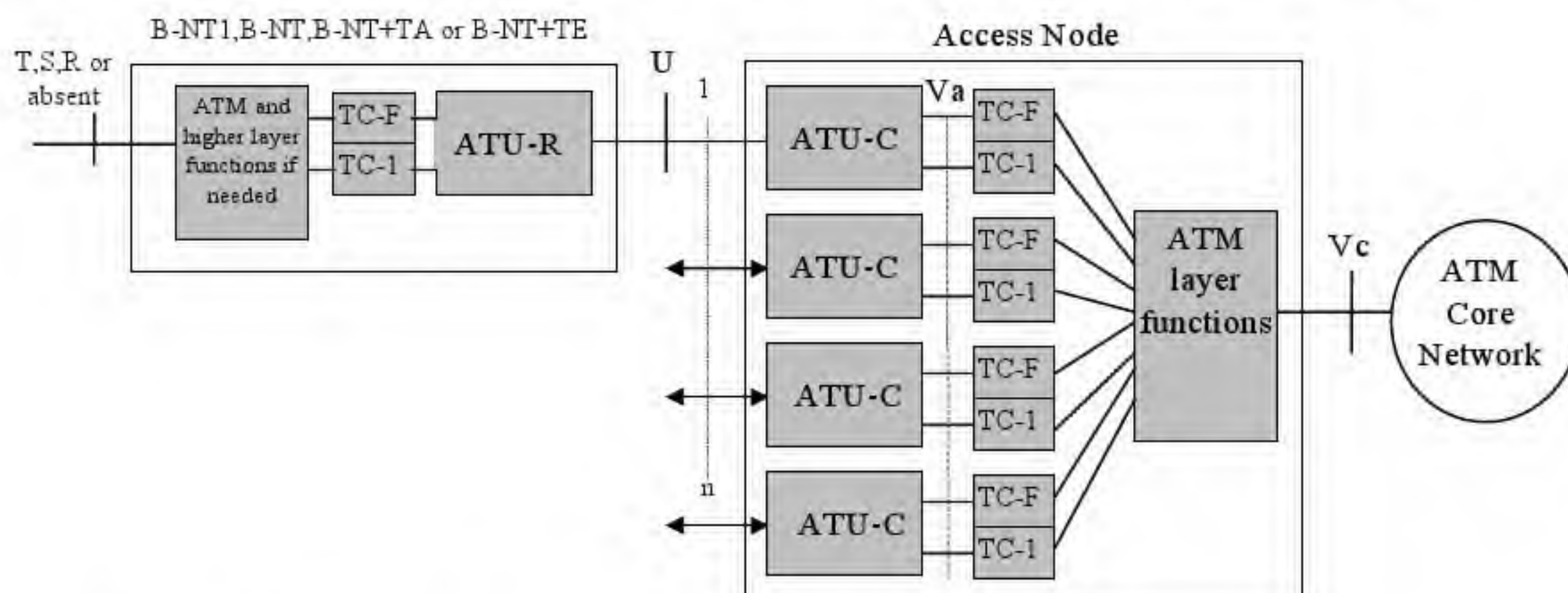


Figura 6.4 - Modelo de referência de sistema do ADSL Forum

O relatório TR-017 do ADSL Forum [A2] descreve interfaces e configurações relativas ao transporte de ATM sobre redes de acesso baseadas em ADSL. Este relatório concentra-se nos protocolos até à camada ATM, nomeadamente a subcamada de convergência de transmissão (*Transmission Convergence, TC*) para ADSL.

A Figura 6.5 apresenta os blocos funcionais da rede de acesso ADSL, da interface Vc à interface T.



TC - Subcamada ATM Transmission Convergence.

ATU-C - ADSL Transceiver Unit at the Central Office.

ATU-R - ADSL transceiver Unit at the remote terminal.

Figura 6.5 - Modelo de referência específico para o modo ATM

Embora a figura mostre dois caminhos ("Fast" e "Interleaved"), só é obrigatório implementar um único caminho.



## 6.4 Splitter

O ADSL utiliza uma gama de frequências elevada, sendo possível combinar voz e dados num simples par de cobre: a voz utiliza a banda dos 0 aos 4 kHz, os dados são transmitidos a frequências mais elevadas.

Esta partilha de frequências no par de cobre não está no entanto isenta de problemas. Por um lado, certos equipamentos telefónicos utilizam frequências acima dos 4 KHz podendo provocar algumas interferências nas transferências de dados entre os *modems*. Por outro lado, algumas das frequências utilizadas pelos *modems* ADSL podem ser captadas por alguns aparelhos telefónicos, causando estática e ruídos.

A solução para este problema foi a criação de *splitters* que são adicionados à linha telefónica, junto ao local em que esta entra na casa do cliente e também do lado do operador telefónico.

O *splitter* “bifurca” a linha telefónica em dois ramos: um ramo liga-se à linha telefónica normal para transmissão da voz e o outro ramo liga-se ao *modem* ADSL para a transmissão de dados. Agindo como um filtro que encaminha as frequências dos 0 aos 4 KHz apenas para os aparelhos telefónicos, o *splitter* elimina assim o risco de haver interferências mútuas.

Como se trata de um mecanismo passivo que não consome energia para funcionar, garante-se que o serviço telefónico esteja sempre a funcionar, mesmo quando existem quebras de energia eléctrica.

O problema dos *Splitters* é que a sua instalação implica, na maior parte dos casos, a deslocação de um técnico a casa do cliente, com os consequentes custos. Para evitar isto têm sido estudadas alternativas que evitam a instalação do Splitter, embora à custa de uma redução do ritmo, como é o caso do ADSL Lite.

Na Figura 6.6 apresenta-se o diagrama de instalação do *Splitter* num acesso ADSL.

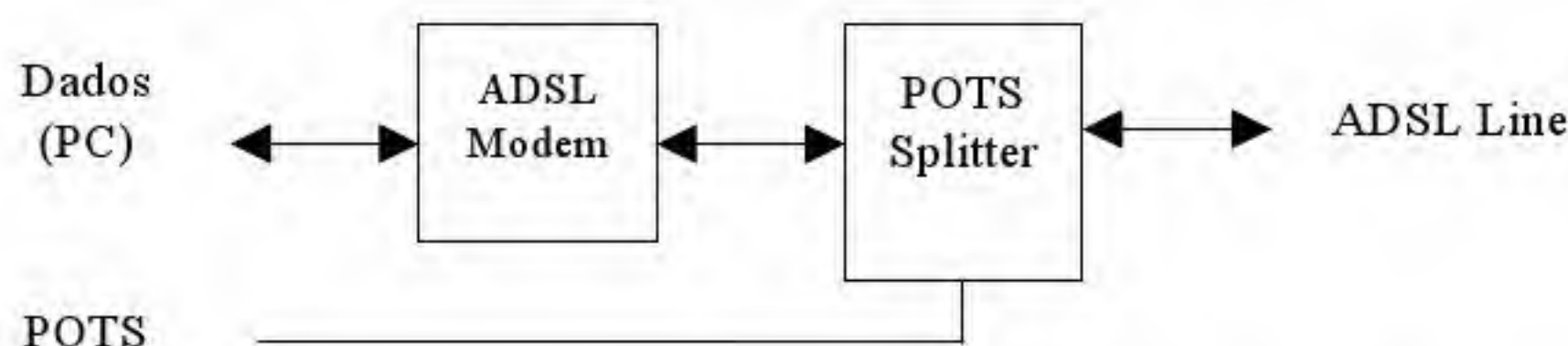


Figura 6.6 - Inserção do Splitter num acesso ADSL

## 6.5 Modem ADSL

O ADSL utiliza técnicas avançadas de processamento de sinal e de algoritmos elaborados para conseguir atingir a máxima capacidade de débito do par entrelaçado de cobre.

Com a atenuação do sinal crescente com o comprimento da linha e com o aumento das frequências utilizadas, o *modem* ADSL tem de ser capaz de cobrir toda a largura de banda, separar os diferentes canais e manter baixos níveis de ruído.

Na Figura 6.7 apresenta-se o modelo de referência de transmissão do Modem ADSL para transporte STM.



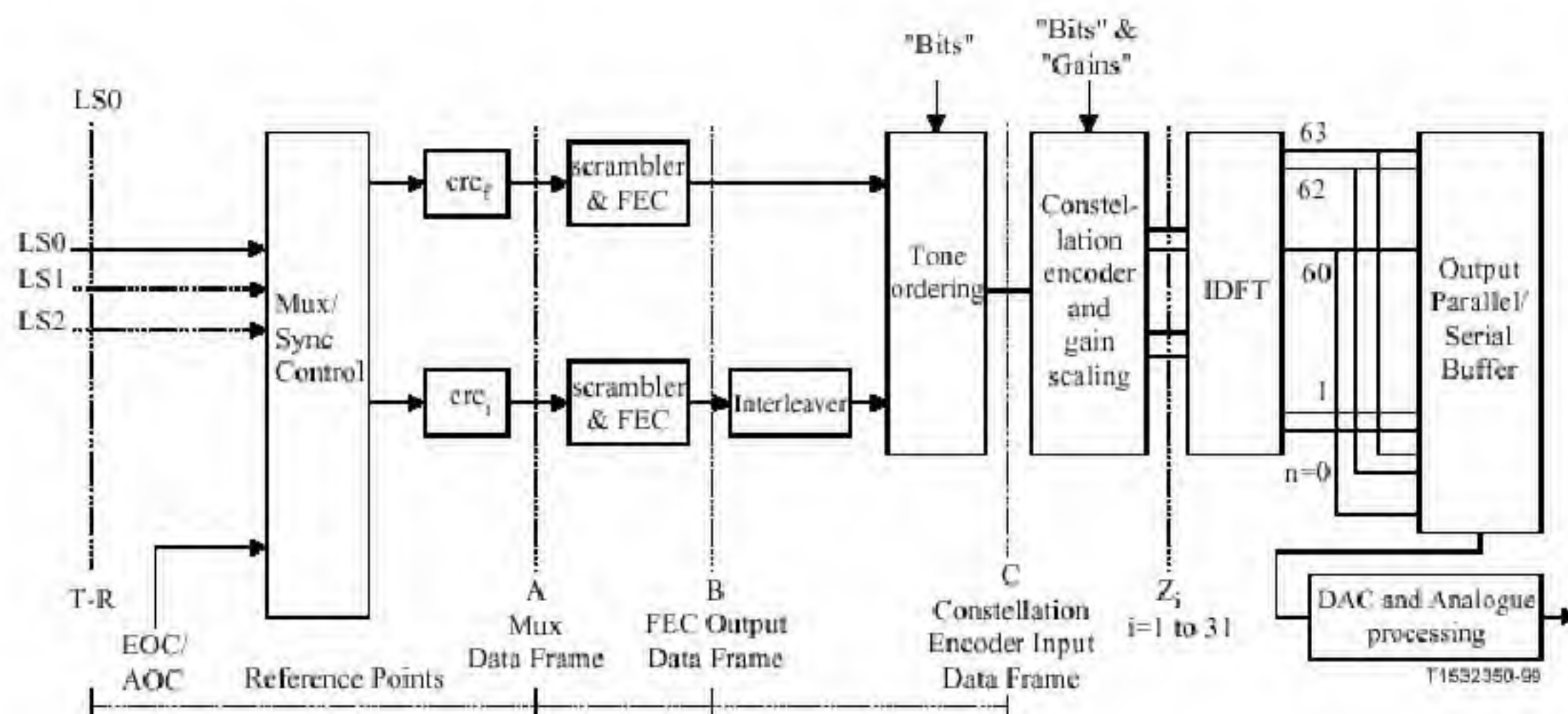


Figura 6.7 - Modelo de referência do transmissor ATU-R para transporte STM (G.992.1)

O equipamento ADSL deverá suportar pelo menos o canal de suporte ascendente LS0, o suporte de outros canais é opcional.

São mostrados dois caminhos entre o “Mux/Sync control” e o “Tone ordering”. O caminho “fast” proporciona baixa latência, enquanto que o caminho “interleaved” proporciona uma taxa de erros muito baixa mas maior latência.

O sistema ADSL deve ser capaz de operar nos dois modos de latência no sentido descendente, no qual os dados do utilizador são atribuídos a ambos os caminhos (*fast* e *interleaved*), e num modo de latência para o modo ascendente

Na Figura 6.8 apresenta-se o modelo de referência de transmissão do Modem ADSL para transporte ATM.

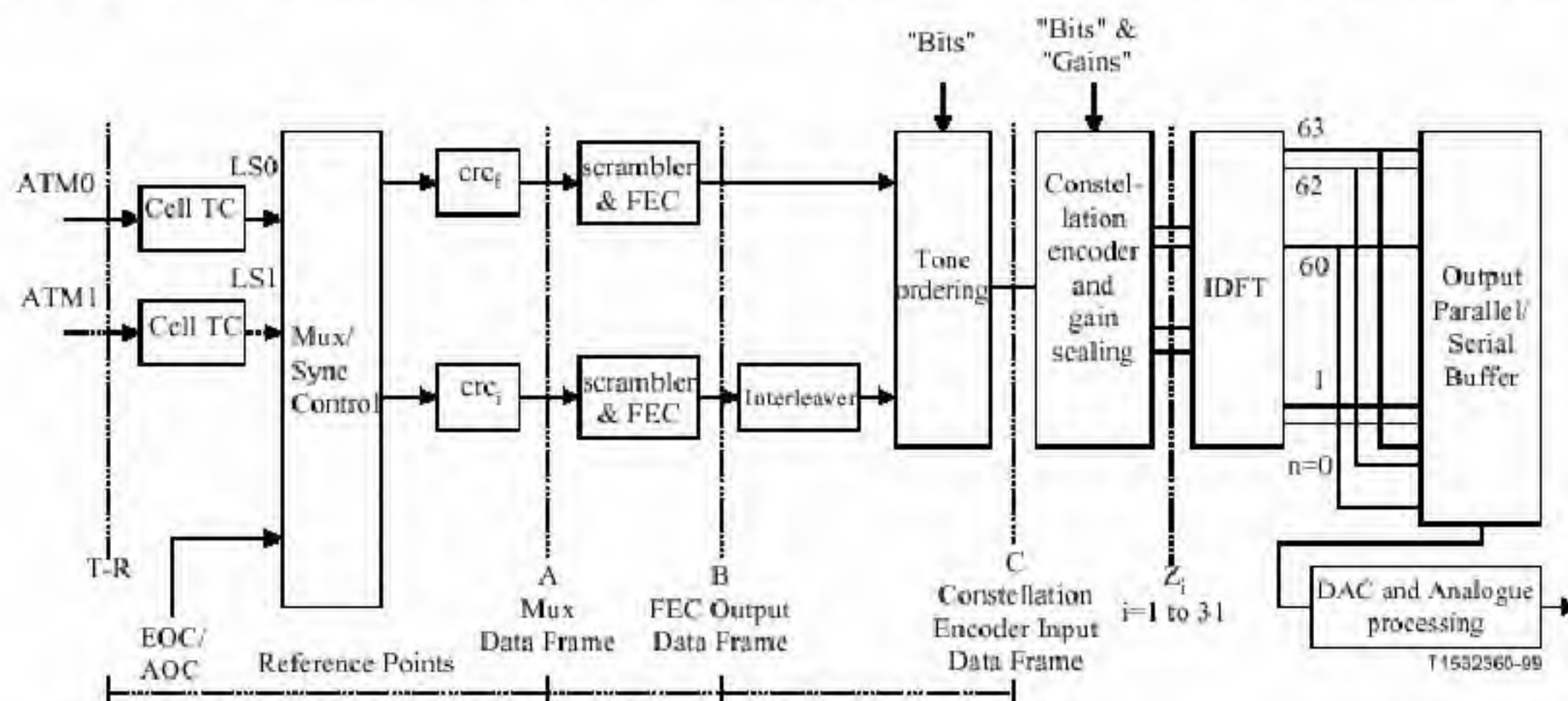


Figura 6.8 - Modelo de referência do transmissor ATU-R para transporte ATM (G.992.1)

Aplicam-se a ATM as mesmas considerações definidas para o modo de transporte STM.

## 6.6 Multiplexagem ascendente / descendente

Para separar os vários canais de transmissão e recepção da informação, os *modems* ADSL dividem a largura de banda disponível em dois modos: *Frequency Division Multiplexing (FDM)* ou *Echo Cancellation (EC)*.



### 6.6.1.1 Frequency Division Multiplexing

A técnica *FDM* divide a largura de banda de um meio de transmissão e atribui uma dada banda para o canal descendente e outra banda para o canal ascendente.

Estando as frequências até aos 4 kHz reservadas para o canal telefónico analógico (*POTS*), o *FDM* atribui a banda entre 26 kHz e 132 kHz para o canal ascendente, ficando a restante banda, até 1,1 MHz, para o canal descendente.

### 6.6.1.2 Cancelamento de Eco

Tradicionalmente, cancelamento do eco significa que os sinais ascendentes e descendentes são transmitidos na mesma frequência, em sobreposição. A grande vantagem é a de que transmitindo a frequências menores, reduz-se a banda utilizada e, conseqüentemente, o risco de atenuação e de *crosstalk*, tornando-se possível estender as capacidades de débito por maiores distâncias.

Com este método, o que os *modems* ADSL recebem é um sinal composto pelo sinal enviado por outro modem e pelo *eco local* da sua própria transmissão. Este eco deve ser modelado com muita precisão para que depois se possa isolar o sinal transmitido pelo *modem* ADSL remoto, subtraindo electronicamente a modelação do eco ao sinal composto inicial. Uma vez que o eco varia com o tipo de cabo que se está a usar, este processo de modelação é complicado, havendo por isso poucos fornecedores a implementá-lo.

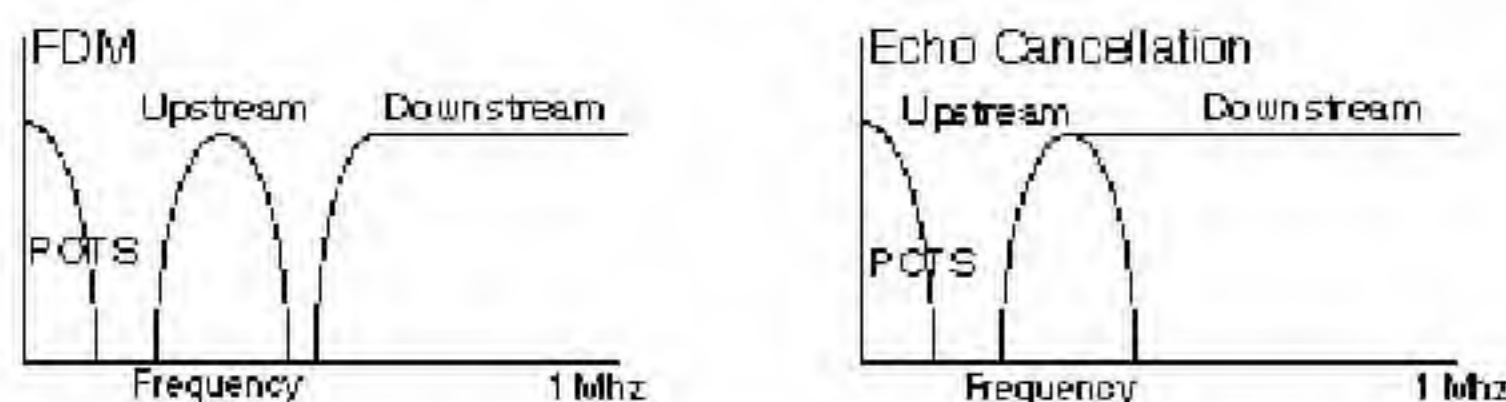


Figura 6.9 - FDM e Cancelamento de Eco

## 6.7 Codificação e modulação DMT

Embora numa fase inicial se tenha utilizado a *Carrierless Amplitude Phase* (CAP), actualmente é dominante a técnica de codificação e modulação designada *Discrete Multitone* (DMT). O DMT equivale a partir o espectro em bandas estreitas e a cada uma dessas bandas aplicar a modulação *x*-QAM, como se mostra na Figura 6.10.

Com esta técnica, a largura de banda reservada para o sentido ascendente (entre 26 kHz e 132 kHz) é subdividida em 32 canais de 4,3 kHz enquanto o canal descendente (até 1.1 MHz) é subdividido em 256 canais. Estes canais transportam sinais que são independentemente modulados de modo a adaptar a taxa de débito às condições da linha em cada momento, pois o *DMT* é adaptativo (*rate adaptive*).

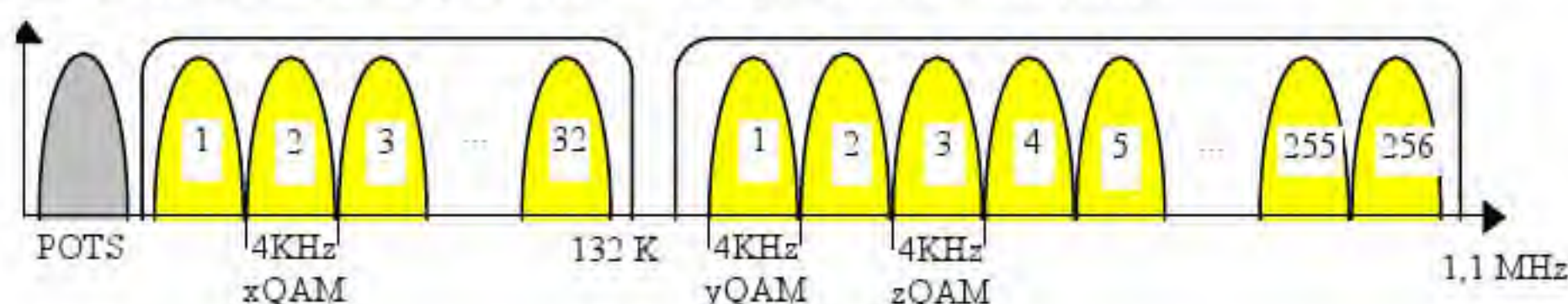


Figura 6.10 - Discrete Multitone (DMT) em ADSL

A tecnologia ADSL utiliza modulação *k*-QAM. A escolha do *k* é função das condições de transmissão tal como ilustra a seguinte tabela:

Bits por símbolo	Constelação QAM	SNR necessária para $BER < 10^{-7}$
4	16-QAM	21,8 dB
6	64-QAM	27,8 dB



8	256-QAM	33,8 dB
9	512-QAM	36,8 dB
10	1024-QAM	39,9 dB

Na Figura 6.11 ilustra-se a modulação 16-QAM.

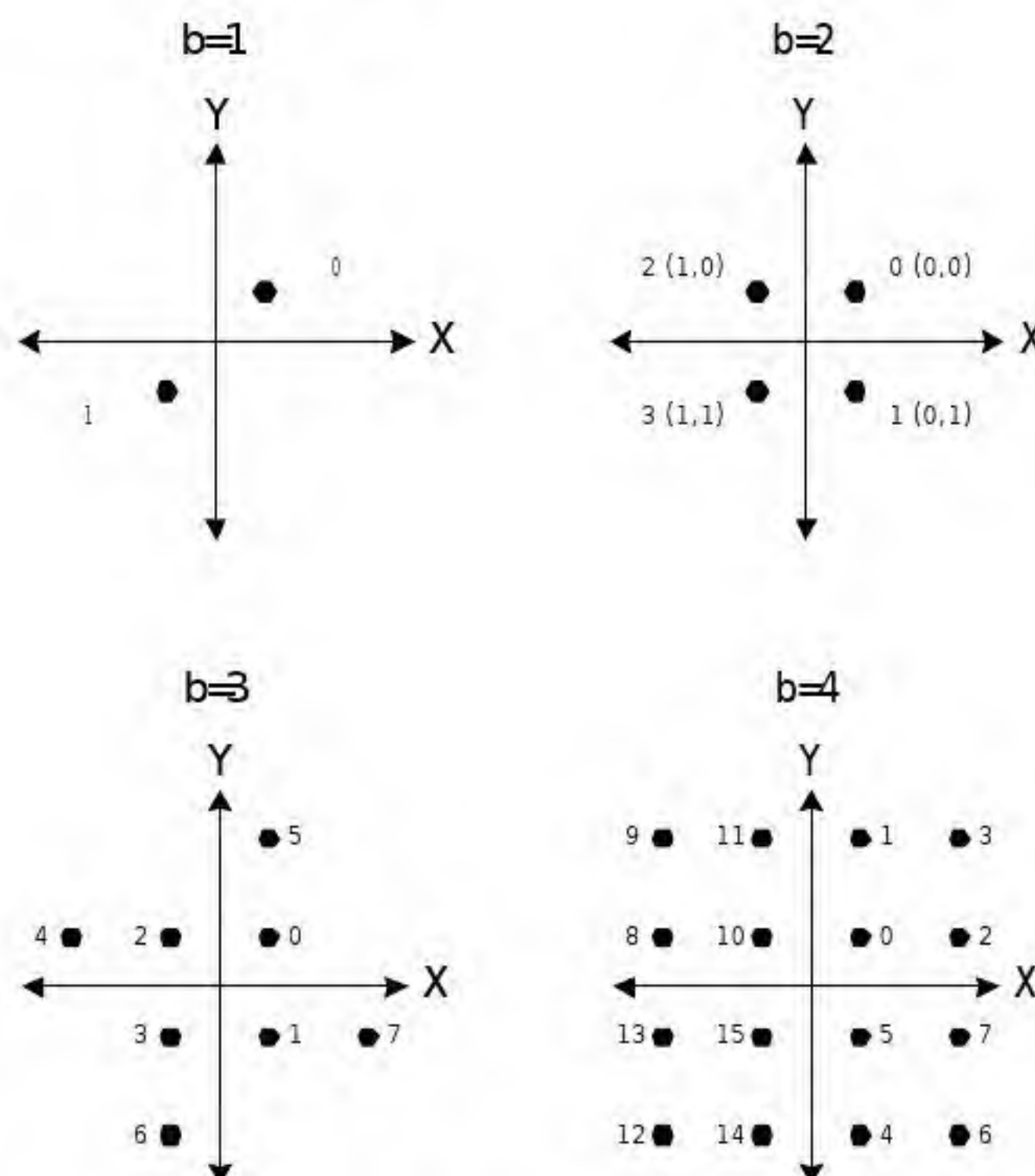


Figura 6.11 - Constelações QAM para  $b=1$ ,  $b=2$ ,  $b=3$  e  $b=4$

Como o ADSL foi concebido para canais com ruído considerável (distâncias de alguns quilómetros) a maior constelação usada é a 1024-QAM. Sistemas concebidos para distâncias em cobre mais curtas e com menos ruído poderão utilizar constelações de ordem superior (ex: VDSL).

Durante o processo de inicialização, é identificada a taxa de erros de cada canal de forma a definir qual a constelação a utilizar em cada caso. Por exemplo, para altas frequências onde a atenuação é significativa, pode-se usar 4-QAM, enquanto na base do espectro se pode usar 1024-QAM. O mecanismo designa-se por atribuição de bits (*bit allocation*) e tem uma duração da ordem dos 20 seg. Este processo pode ocorrer durante o período de operação se as condições de transmissão sofrerem alterações, designando-se nesse caso troca de bits (*bit swapping*).

Inicialmente um igual número de *bits* é transmitido em cada sub-canal para medir as características da linha e otimizar a distribuição da informação. Se algum sub-canal não puder transportar nenhuma informação, ele é 'desligado' e a largura de banda desaproveitada.

O sinal transmitido é agrupado em blocos de  $b$  bits, em que  $b$  corresponde ao somatório das taxas de transmissão de todos os sub-canais DMT. Em cada sub-canal DMT, o número de bits correspondente é modulado no símbolo  $k$ -QAM multibit.

Na Figura 6.12 exemplifica-se a codificação DMT num sistema com 6 sub-canais (tons).



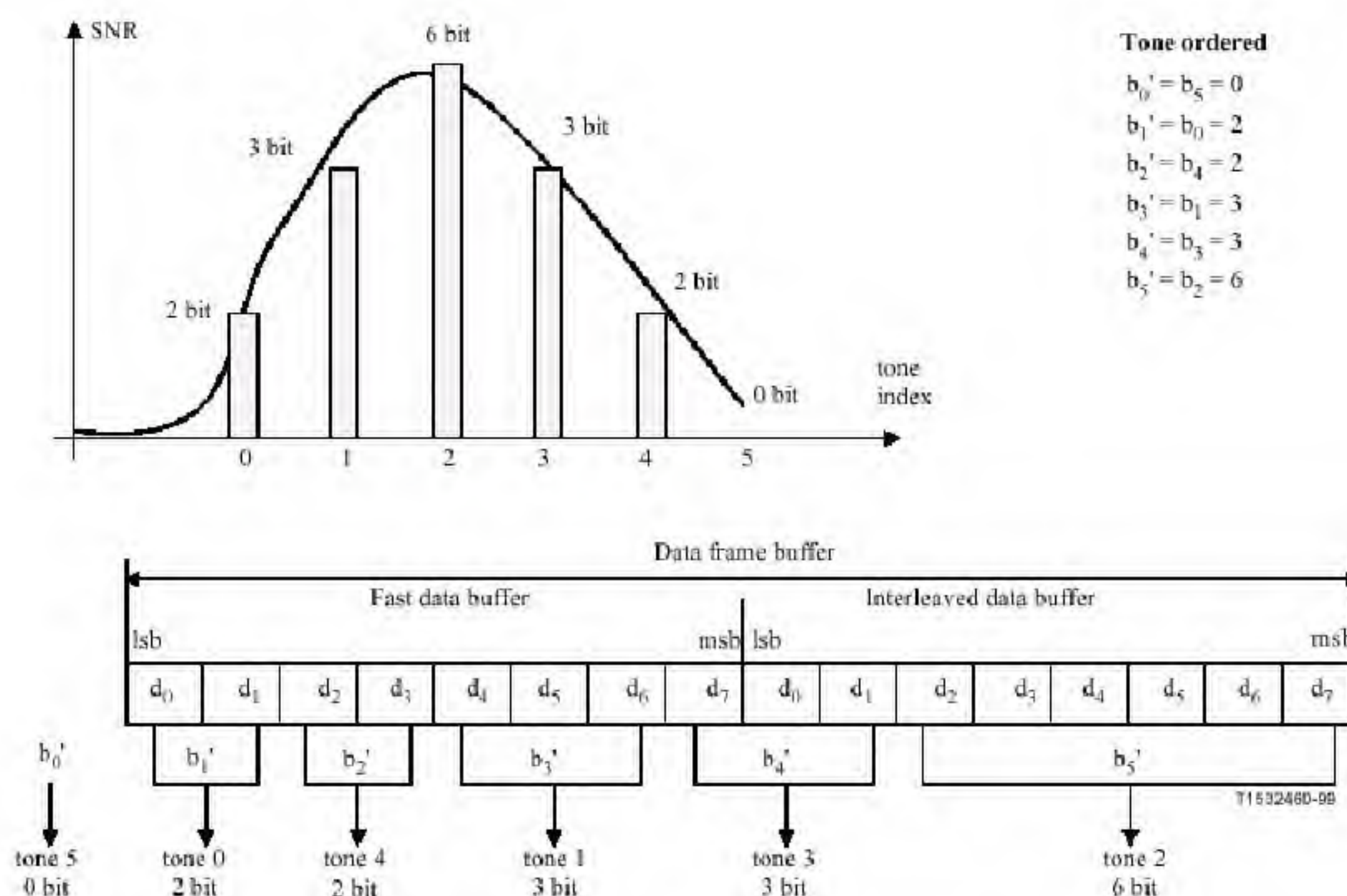


Figura 6.12 - Exemplo de codificação DMT (sem Trellis)

Como se observa na figura, o número de bits utilizado em cada canal é função do SNR medido nesse canal, podendo ir de 0 bit (tom 5) até 6 bit (tom 2).

A modulação/desmodulação explora os métodos de FFT (*Fast Fourier transform*). As primeiras tentativas de implementação do DMT falharam por causa da dificuldade em manter um espaçamento constante entre canais. Actualmente utilizam-se circuitos integrados (ASIC ou DSP) que permitem sintetizar eficientemente o total dos canais QAM modulados. Na Figura 6.13 observa-se a utilização de FFT na recepção e IFFT (*Inverse FFT*) na modulação simultânea dos diferentes canais DMT (32+256).

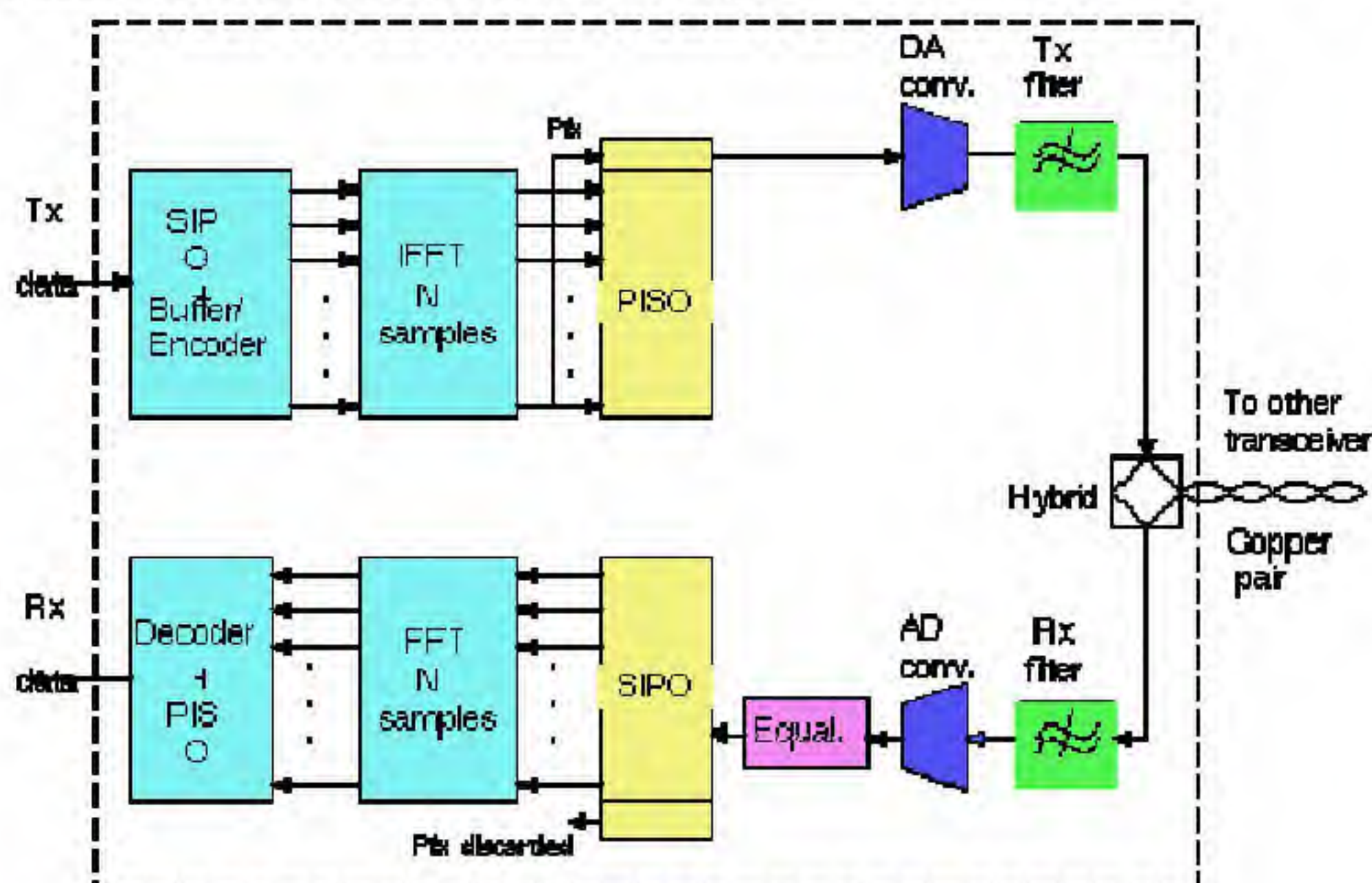


Figura 6.13 - Diagrama de blocos DMT em ADSL



O sinal resultante é serializado (PISO- Parallel In / Serial Out) e convertido num sinal analógico por um DAC. No sentido da recepção existe um circuito inverso SIPO (Serial In /Parallel Out).

Na figura exemplifica-se a número de bits por portadora para uma linha de 2,1 Mbit/s / 600 Kbit/s.

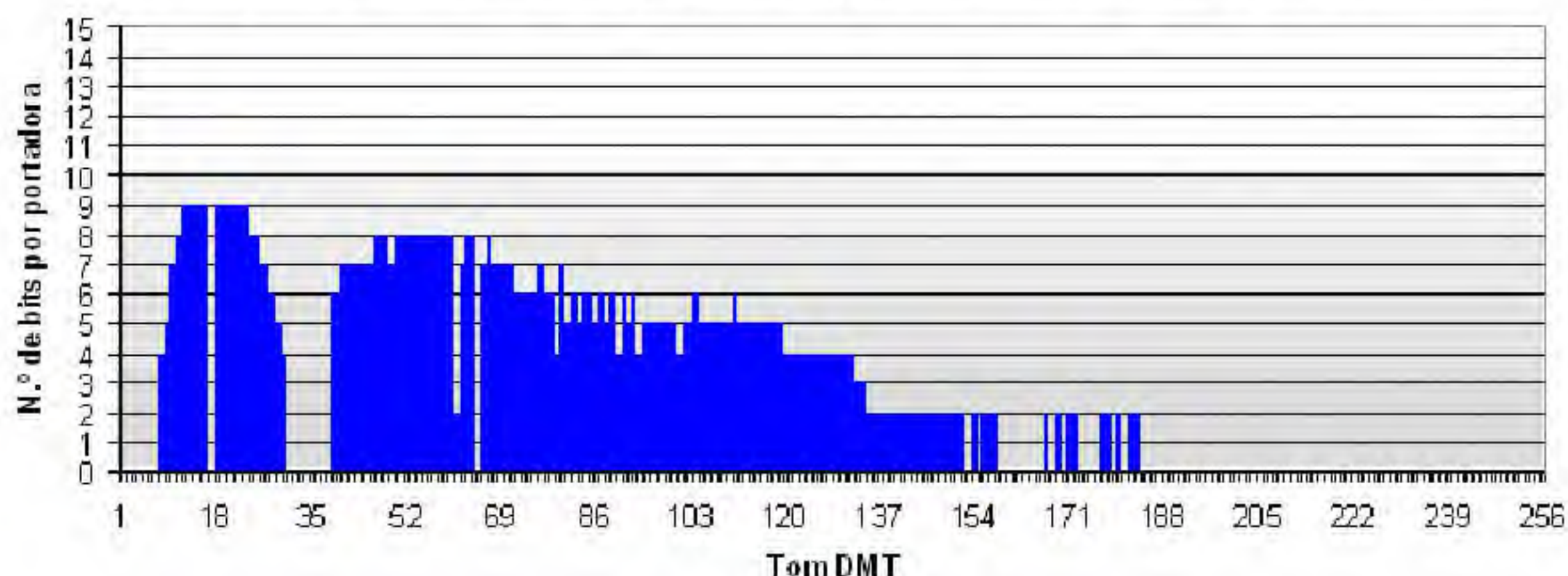


Figura 6.14 - Diagrama de blocos DMT em ADSL (Fonte: PT Comunicações)

Sintetizam-se em seguida as características da modulação DMT (*Discrete MultiTone*) usada em ADSL:

- Modulação de baixa frequência: o período do símbolo DMT é de 250  $\mu$ s
- Modulação k-QAM em cada portadora (sub-canal ou tom)
- Possibilidade de optimização do nível de modulação para cada portadora, função do SNR
- Número variável de bits/portadora
- Potência variável por portadora
- Sinal gerado por FFT/IFFT
- Filtragem  $\text{sen}(x)/x$ , lobos a 12 dB

## 6.8 Correção de erros e Interleaving

Uma funcionalidade que introduz uma substancial robustez nos sistemas ADSL é a implementação de algoritmos de correção de erros. Este método é particularmente relevante se as aplicações visadas envolverem transmissões de vídeo e áudio porque para dados em tempo real os mecanismos tradicionais de detecção e recuperação de erros por retransmissão não são suficientes.

O código *Reed-Solomon* (RS) é o método mais utilizado nos diferentes sistemas ADSL. Este sistema baseia-se no princípio da introdução de redundância no conteúdo a transmitir. A configuração mais frequentemente usada é RS (255,239) que corresponde à transmissão de 16 Bytes de controlo por cada 239 Bytes de informação. Este vector de controlo permite a correção de até 8 bytes errados por vector de informação, introduzindo apenas 6,3% de *overhead*.

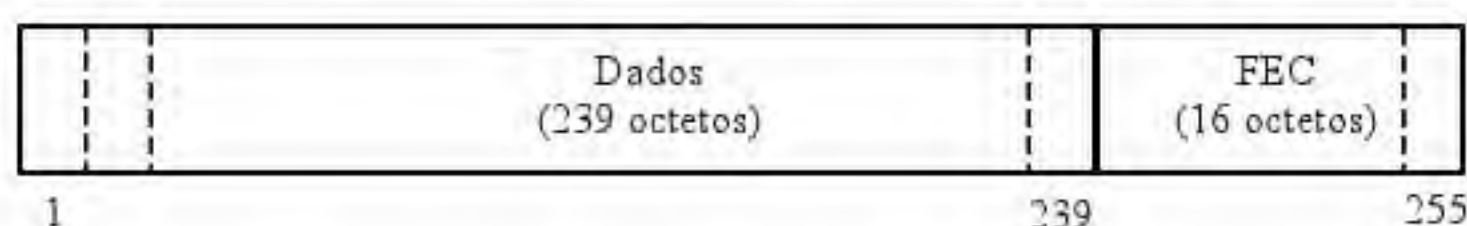


Figura 6.15 - Correção de Erros (FEC) Reed-Solomon

A ocorrência de *bursts* de erros pode corromper o vector de informação e o vector de controlo simultaneamente, deixando o sistema receptor sem possibilidade de recuperar a informação perdida. Uma forma de “espalhar” pelo tempo esses *bursts* de erros é separar os vectores de informação dos de controlo, tal como a Figura 6.16 ilustra.



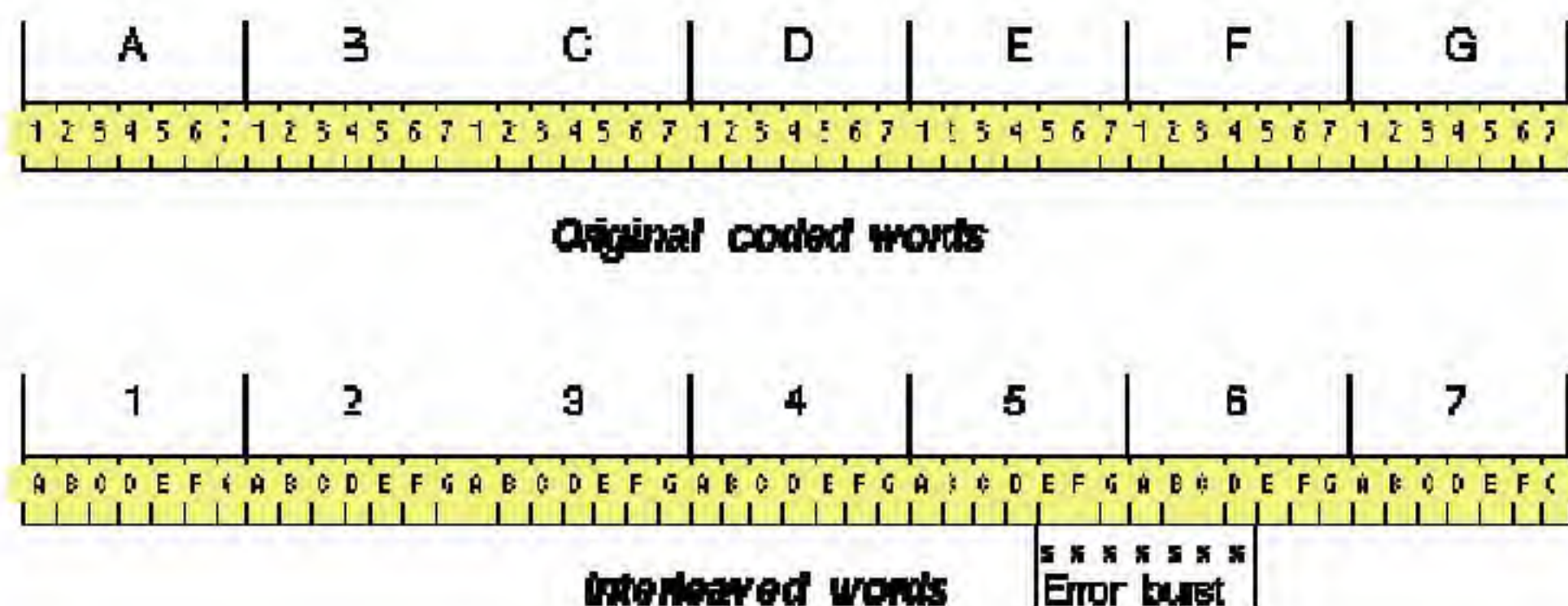


Figura 6.16 - Interleaving de dados

Na tabela seguinte ilustra-se como é efectuado o Interleaving através de uma memória onde se escrevem os sucessivos octetos linha a linha, efectuando o Interleaving através da transmissão coluna a coluna.

A1	A2	A3	A4	A5	A6	7 A	8 A
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
D1	D2	D3	D4	D5	D6	7 D	8 D
E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
G1	G2	G3	G4	G5	G6	7 G	8 G
H1	H2	H3	H4	H5	H6	7 H	8 H

A desvantagem desta técnica é a introdução de atraso da aplicação de nível superior. Como a eficácia deste método de correcção aumenta com a distância entre os vectores de dados e erros, é possível adaptar essa distância aos requisitos do serviço. Em geral os serviços sensíveis a atraso são pouco sensíveis a erros e vice-versa, o que permite adaptar o *interleaving* às necessidades do serviço.

A Figura 6.17 contém o diagrama de blocos do codec Reed-Solomon e do sistema de *interleaving* no Modem ADSL. O sinal de entrada é separado em dois grupos dependendo dos requisitos de latência do tráfego cursado. O primeiro grupo é sensível ao atraso não sofrendo, por isso, *interleaving*. O segundo grupo, por ser tolerante ao atraso (ex: navegação na Web) sofre *interleaving*.



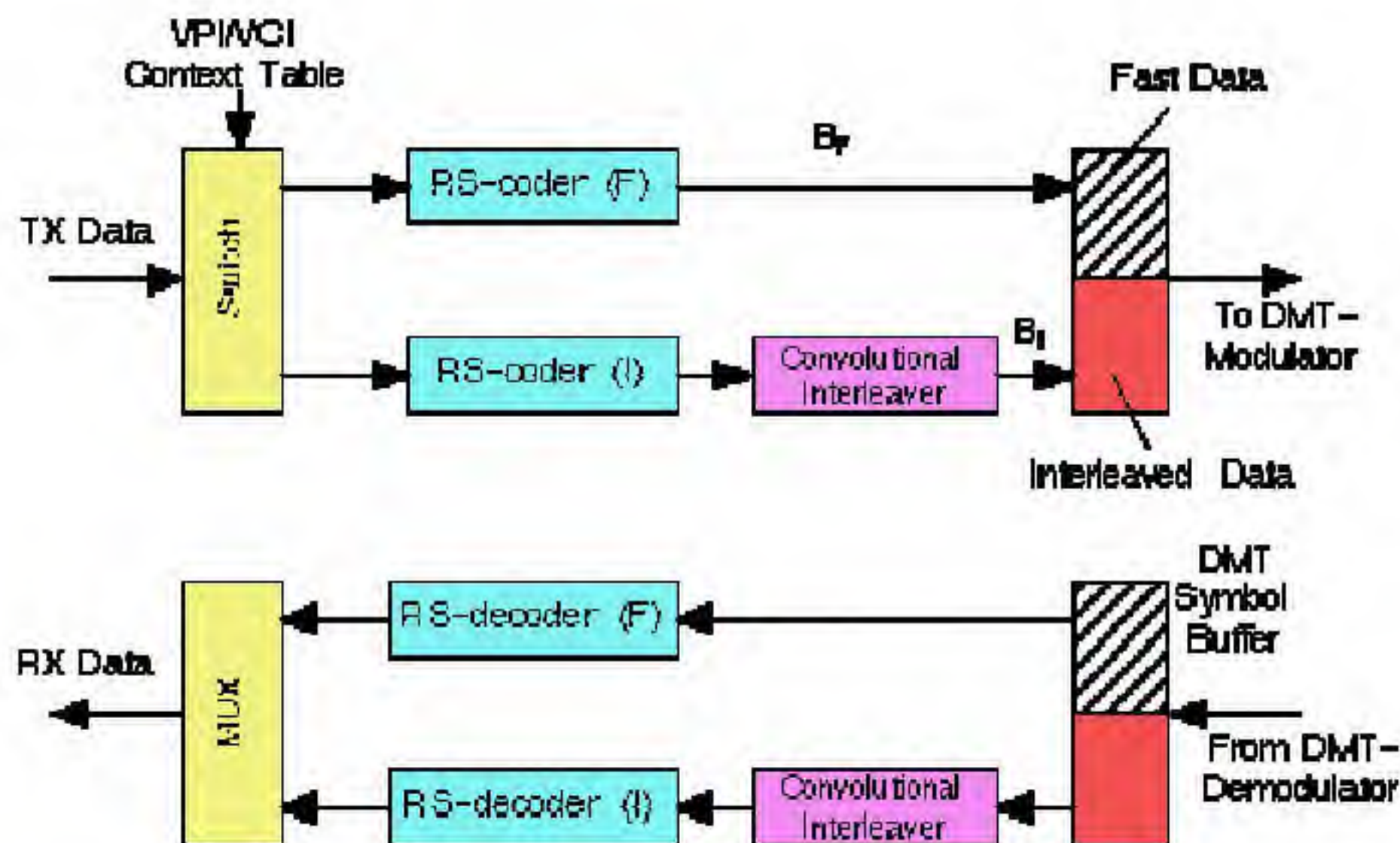


Figura 6.17 - Implementação de FEC e Interleaving

## 6.9 Estrutura de tramas ADSL

Como em qualquer outro método de transporte de dados, devem existir alguns mecanismos que permitam a sincronização do formato e da entrega da informação digitalizada. Em ADSL a informação é organizada numa hierarquia sincronizada no tempo composta pelos itens seguintes:

- **Supertramas:** São o nível mais elevado de representação dos dados. Cada supertrama contém 68 tramas ADSL em que a primeira é usada para garantir a sincronização das supertramas. Algumas das outras tramas têm também funções especiais.
- **Tramas:** Cada trama está limitada no tempo por intervalos múltiplos de 250  $\mu$ s, a duração de cada símbolo. Embora a duração seja constante, o tamanho e o conteúdo das tramas varia com o modo de transporte utilizado.

Quer as tramas, quer as supertramas, têm uma organização e estrutura que assegura a sincronização do transporte de informação e a gestão dos vários canais de transporte.

As tramas ADSL são transmitidas num formato fixo, como se pode ver na Figura 6.18, e são compostas por três grandes blocos:

- **Fast Byte:** Este bloco é usado para processamentos relacionados com *supertramas*; os *fast bytes* de cada trama dentro de uma *supertrama* transportam informação diferenciada.
- **Fast Data:** Usado para a transmissão de dados muito sensíveis ao tempo, que não podem ser retransmitidos em caso de erro, como o áudio ou o vídeo. Um bloco adicional para implementar o *Forward Error Correction* pode ser usado.
- **Interleaved Data:** Usado para o transporte de dados da Internet, por exemplo.

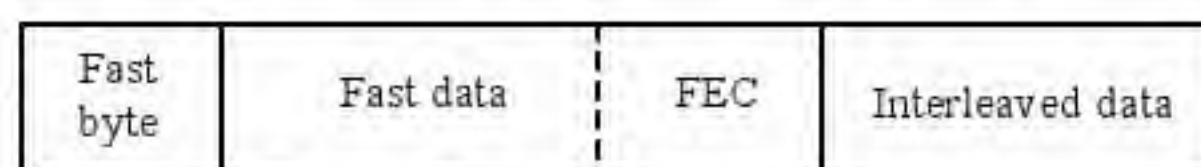


Figura 6.18 - Estrutura da trama ADSL

Como se mostra na figura seguinte, cada supertrama ADSL é constituída por 68 tramas de dados, numerados de 0 a 67, que são codificadas e moduladas em símbolos DMT, seguidos de um símbolo de sincronização inserido pelo modulador para estabelecer as fronteiras da supertrama.



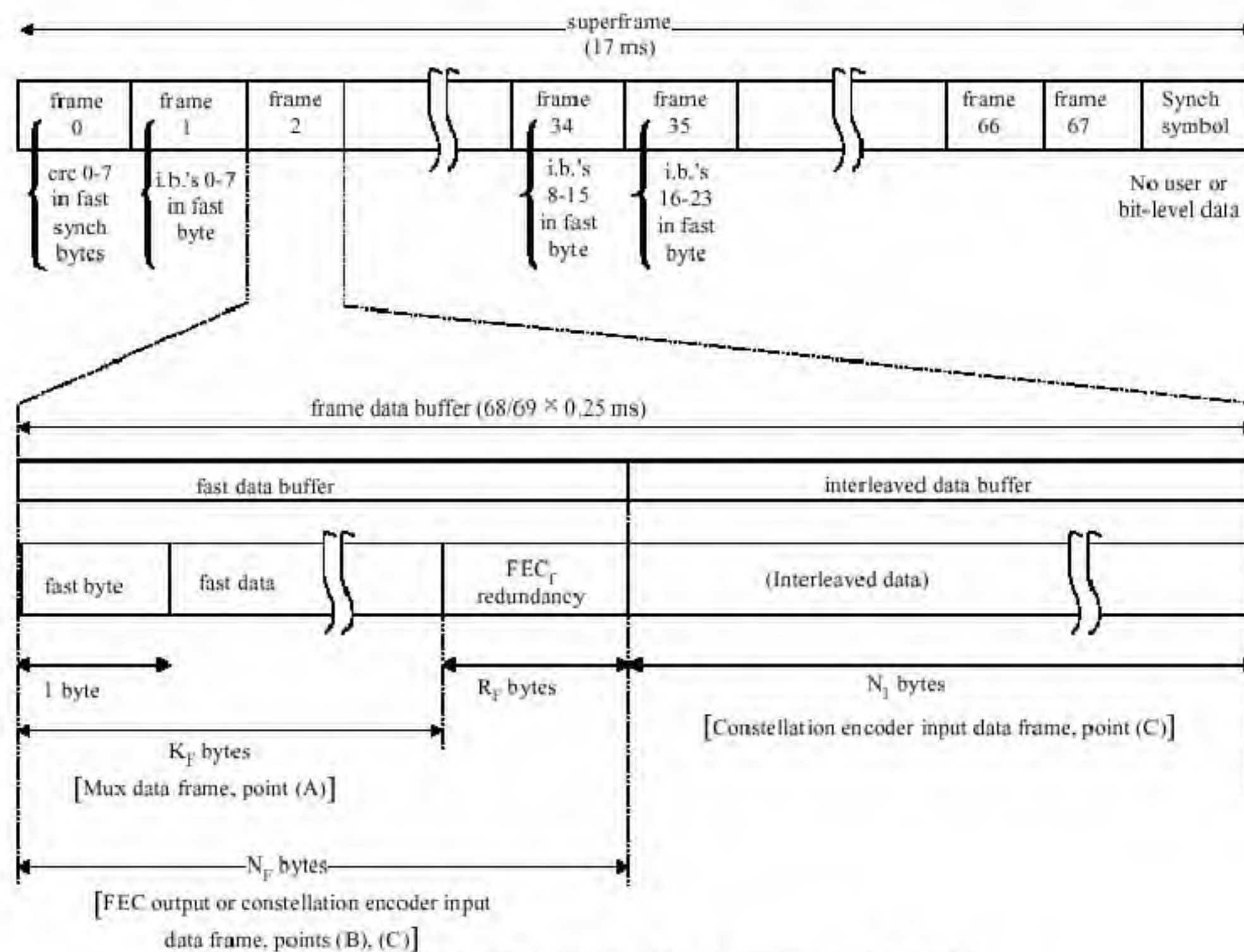


Figura 6.19 - Estrutura da supertrama ADSL

A taxa de símbolos DMT do utilizador é de 4000 baud (período = 250  $\mu$ s). Cada trama na supertrama contém dados do *fast buffer* e do *interleaved buffer*. A dimensão de cada buffer depende da atribuição de canais de suporte feita na inicialização.

Na Figura 6.20 mostra-se a estrutura do “fast byte” da trama ADSL, utilizado para sincronização e transporte de canais de manutenção.

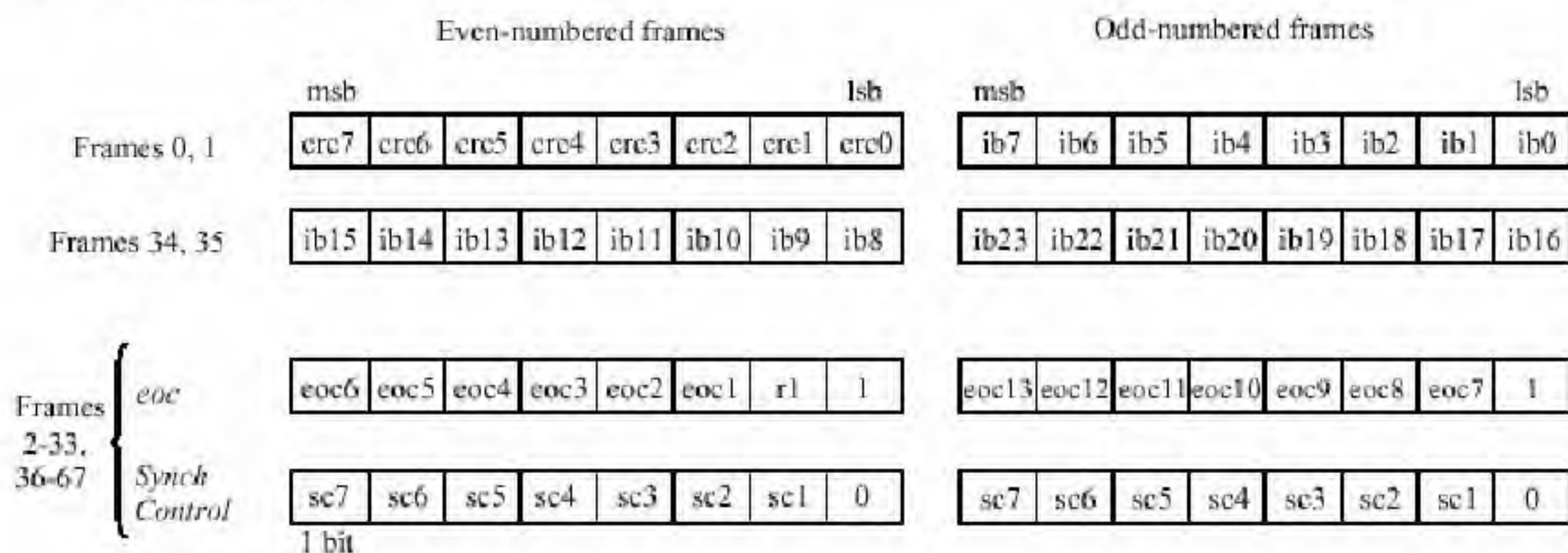


Figura 6.20 - Estrutura do “fast byte” de ADSL

O canal *eoc* (*embedded operations channel*) é usado para comunicação entre o ATU-C e o ATU-R para manutenção em serviço (*in-service*) e fora de serviço (*out-of-service*) e para obtenção de informação de estado e de parâmetros de monitorização de desempenho ADSL do ATU-R.

Os bits *ib<sub>x</sub>* (*indicator bits*) são usados para diversas funções de manutenção, nomeadamente de nível físico e ATM.



## 6.10 Extensões ADSL

O ITU-T definiu na recomendação G.992.2, “Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers”, uma versão de ADSL caracterizada por não requerer a instalação de “splitter” nas instalações do utilizador. Esta versão, também designada “ADSL Lite” permite a transmissão de dados com débito mais baixo que a versão original, em particular no sentido descendente:

- Downstream: múltiplos de 32 kbit/s, de 64 kbit/s a 1.536 Mbit/s.
- Upstream: múltiplos de 32 kbit/s, de 32 kbit/s to 512 kbit/s.

Outras recomendações do ITU-T relativas a extensões de ADSL:

G.992.3, “Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers - 2 (ADSL2)”.

G.992.4, “Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (Splitterless ADSL2)”.

G.992.5, “Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers – Extended Bandwidth ADSL2 (ADSL2+)”, January 2005.

## 6.11 Arquitecturas e configurações ADSL

### 6.11.1 Configuração com Modem ADSL

A configuração mais comum para clientes residenciais é baseada na instalação de um Splitter e de um Modem ADSL nas instalações do cliente.

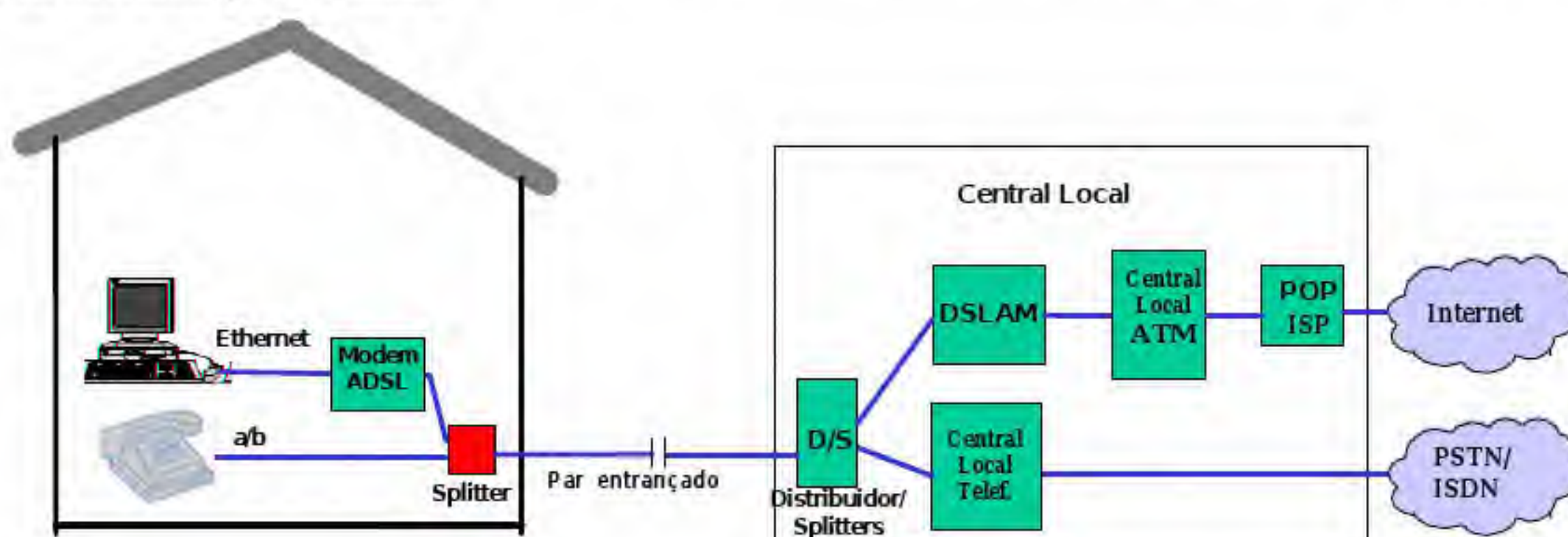


Figura 6.21 - Configuração com Modem ADSL

Nesta configuração o cliente tem possibilidade de utilizar simultaneamente a linha ADSL para o serviço telefónico analógico (POTS) e para dados, nomeadamente para acesso à Internet.

Para o serviço telefónico os protocolos são apenas de nível físico, uma vez que os Splitters são simples filtros. Os protocolos utilizados para o serviço de dados são mostrados na figura seguinte.



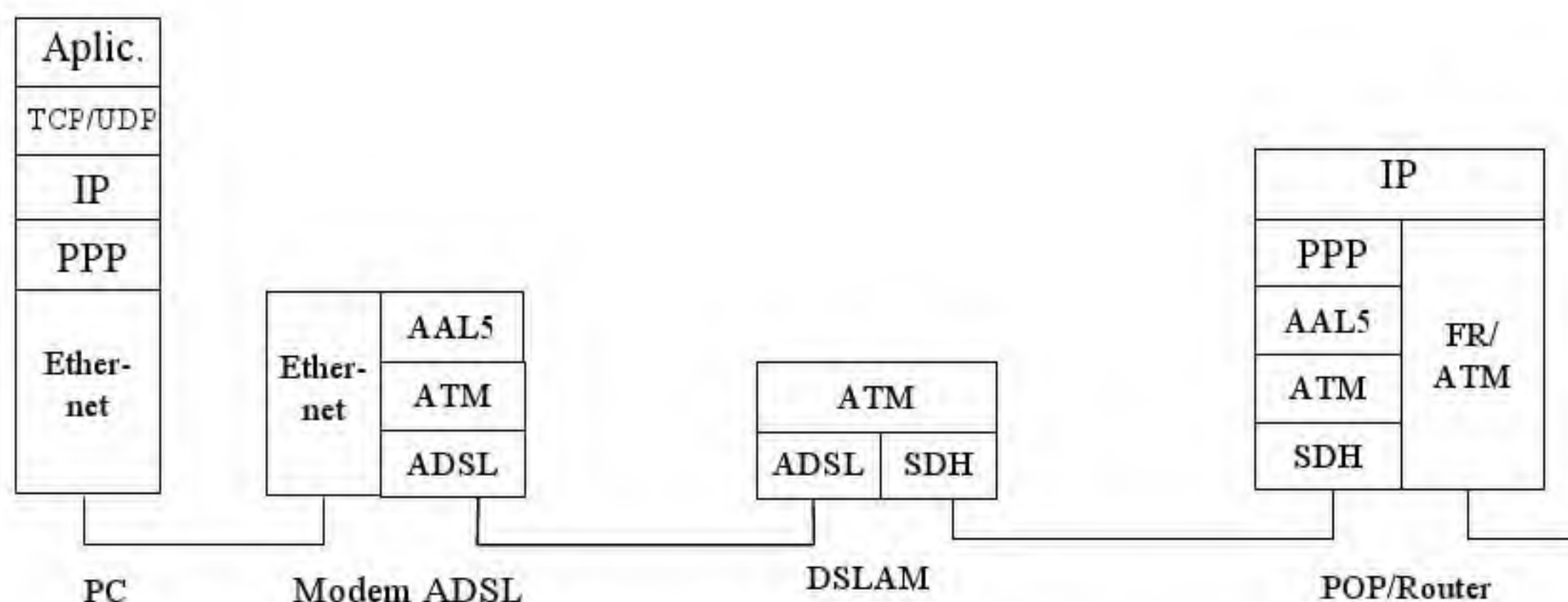


Figura 6.22 - Protocolos de dados na configuração com Modem ADSL

### 6.11.2 Configuração com Modem ADSL e Router

Caso o cliente queira partilhar a linha ADSL por vários terminais, então deverá instalar um Router, o qual deverá ter a funcionalidade de NAT (Network Address Translation), Servidor PPP e eventualmente de DHCP.

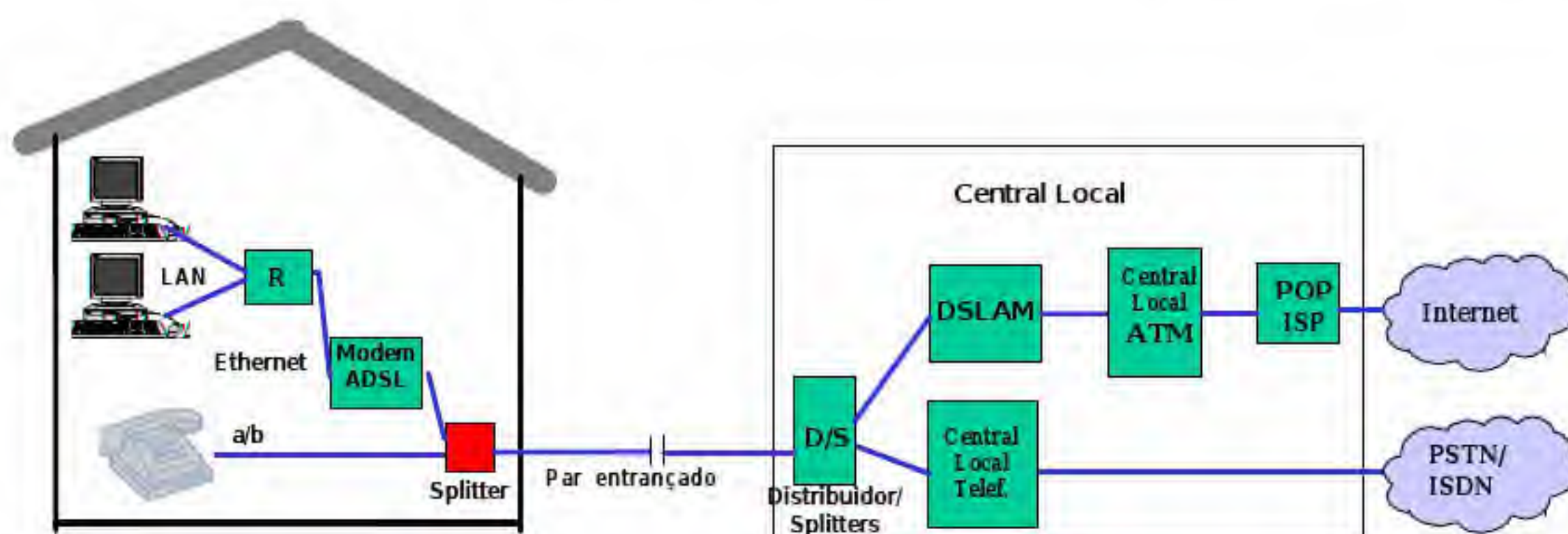


Figura 6.23 - Configuração com Router e Modem ADSL

Para esta configuração, os protocolos utilizados para o serviço de dados são mostrados na figura seguinte.

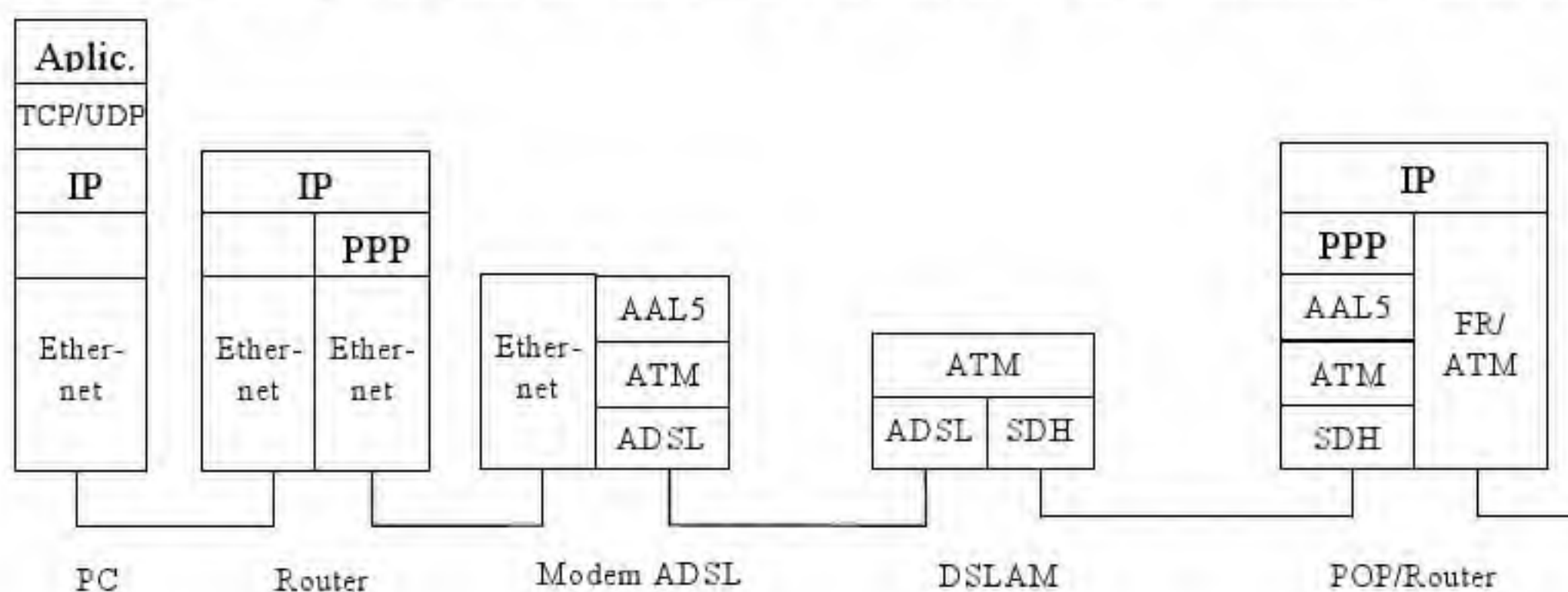


Figura 6.24 - Protocolos de dados na configuração com Router e Modem ADSL



### 6.11.3 Configuração com IAD

Para além do acesso a dados com débitos elevados, a tecnologia ADSL permite o acesso à rede telefónica ou à RDIS, necessitando para tal que o cliente instale um equipamento IAD (*Integrated Access Device*).

As vantagens do acesso de voz e dados através de uma única linha são óbvias quer para o operador quer para o cliente, nomeadamente em redução de custos de instalação, manutenção e operação.

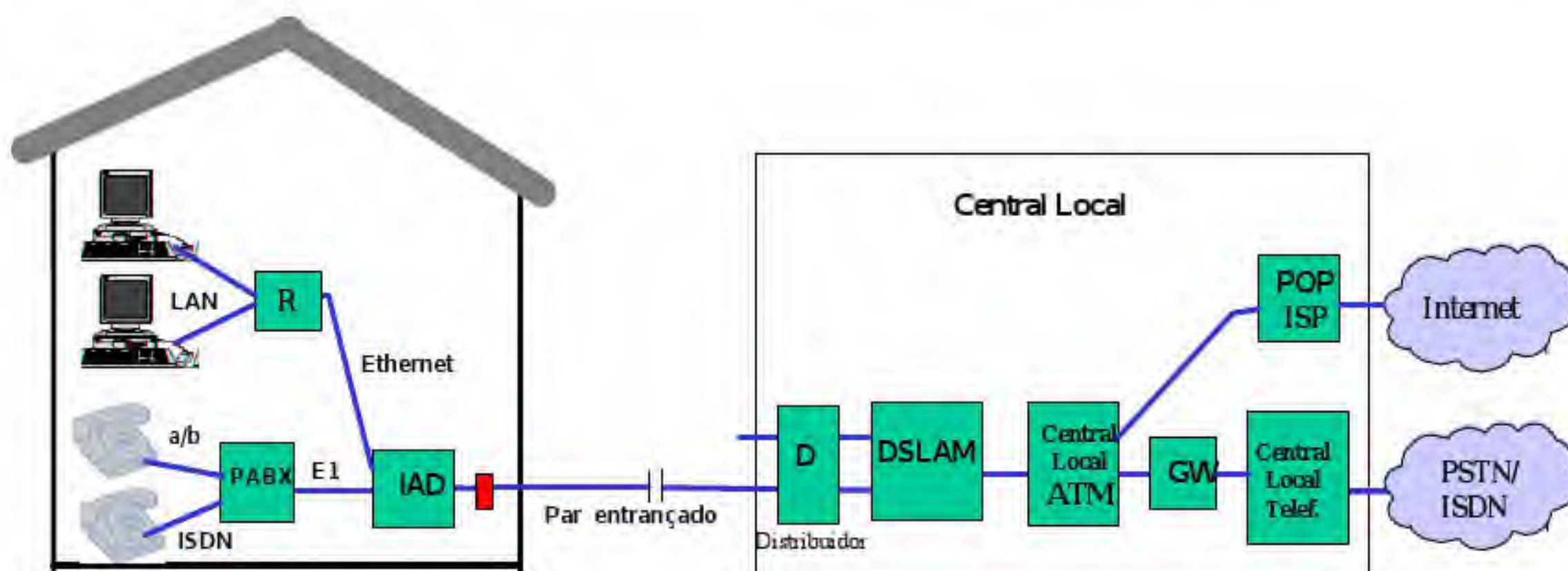


Figura 6.25 - Configuração com IAD

De modo a permitir uma fácil integração na rede pública, através do DSLAM ou com o equipamento ADSL integrado na central, o IAD deverá implementar as normas em desenvolvimento no grupo VoDSL, nomeadamente no sub-grupo BLES (*Broadband Loop Emulation Service*) do ADSL Forum.

O ADSL Forum através do grupo BLES recomenda a utilização de um único PVC dedicado para o transporte das múltiplas chamadas telefónicas entre o PABX e a rede. Deverá ser usado o AAL2 definido na recomendação I.366.2 *Service Specific Convergence Sublayer for Trunking*.

O diagrama de protocolos correspondentes ao transporte da voz entre o PABX e a Gateway é a indicada na figura seguinte.

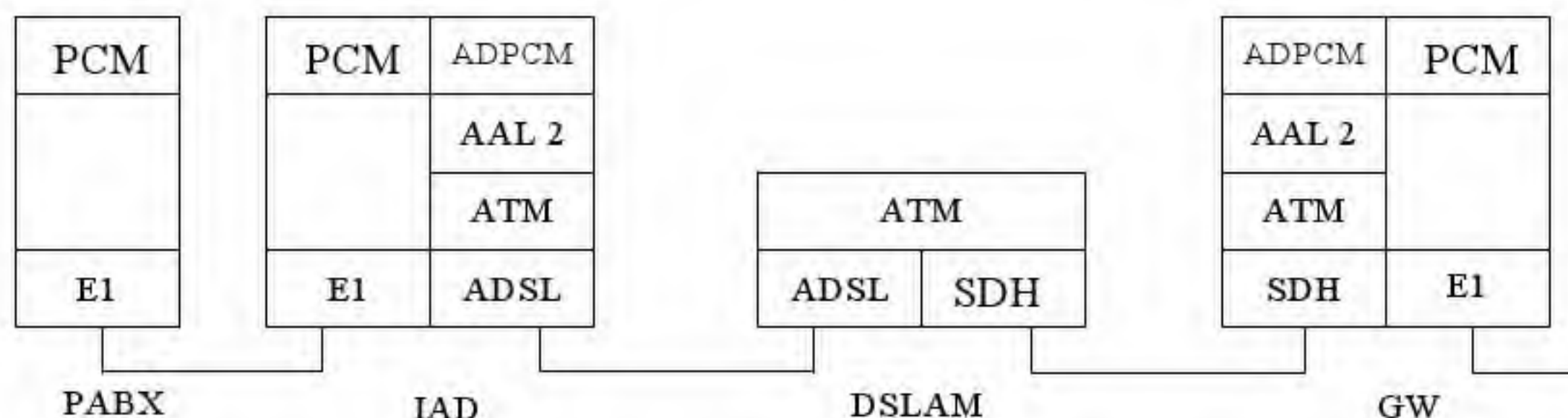
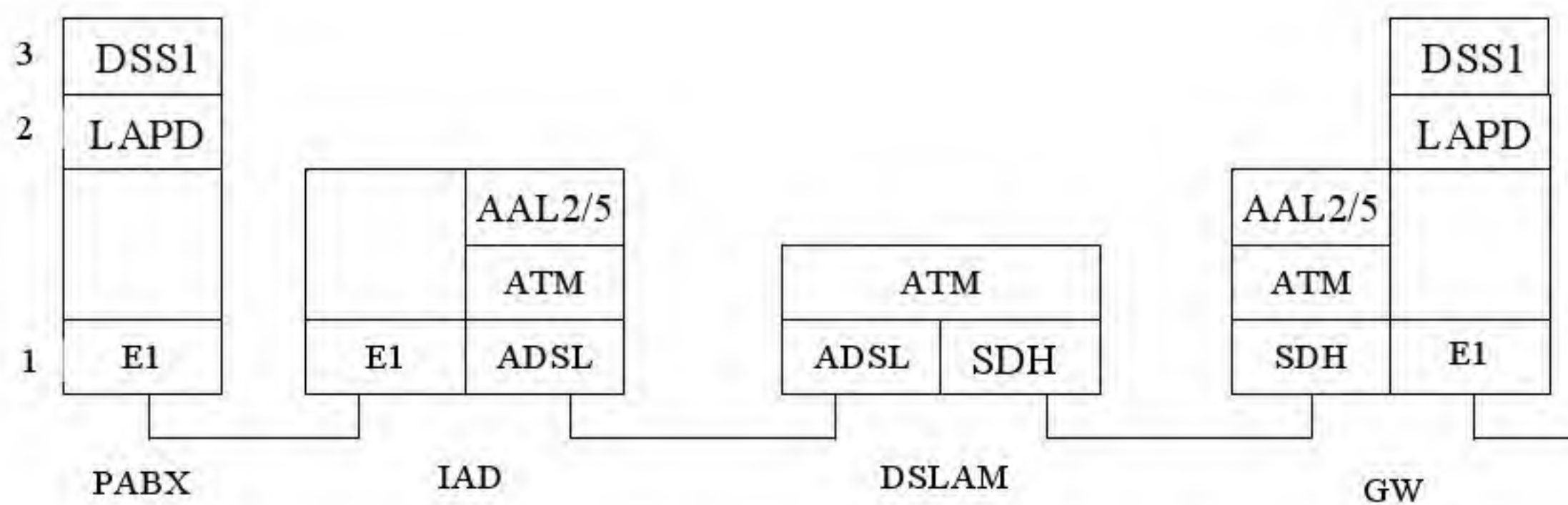


Figura 6.26 - Protocolos de Voz do PABX na configuração com IAD

O diagrama de protocolos correspondentes ao transporte da sinalização do Canal D do PABX até a Gateway é mostrada na figura seguinte.





**Figura 6.27 - Protocolos de sinalização de PABX na configuração com IAD**

Deverão ser definidos no IAD e no DSLAM dois PVCs, um para dados e outro para voz. Ao PVC para voz é atribuída maior prioridade, operando como um circuito de ritmo variável de tempo real VBR-RT. Este circuito utiliza de modo dinâmico e eficiente a banda disponível, pois como funciona com AAL2 só os circuitos de voz activos utilizam recursos.

O PVC para dados é configurado como UBR, utilizando toda a banda disponível não usada pelos circuitos de voz activos.



## *Referências*

### ITU-T:

- [I1] ITU-T G.991.1, "High bit rate Digital Subscriber Line (HDSL) transceivers", October 1998.
- [I2] ITU-T G.991.2, "Single-Pair High-Speed Digital Subscriber Line (SHDSL) transceivers", February 2001.
- [I3] ITU-T G.992.1, "Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers", July 1999.
- [I4] ITU-T G.992.2, "Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers", June 1999.
- [I5] ITU-T G.992.3, "Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers - 2 (ADSL2)", July 2002.
- [I6] ITU-T G.992.4, "Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (Splitterless ADSL2)", July 2002.
- [I7] ITU-T G.993.1, "Very high speed digital subscriber line foundation", November 2001.
- [I8] ITU-T G.994.1, "Handshake procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers", July 2002.
- [I9] ITU-T G.995.1, "Overview of digital subscriber line (DSL) Recommendations", February 2001.
- [I10] ITU-T G.996.1, "Test procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers, February 2001.
- [I11] ITU-T G.997.1, "Physical layer management for digital subscriber line (DSL) transceivers", July 1999.
  
- [I12] ITU-T G.992.5, "Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers – Extended Bandwidth ADSL2 (ADSL2+)", January 2005.
- [I13] ITU-T G.993.2 VDSL2 (Very Fast Digital Subscriber Line), Maio de 2005.

### ETSI:

- [E1] ETSI TS 101 270-1, "Very high speed digital subscriber line (VDSL); Part 1: Functional Requirements", October 1999.
- [E2] ETSI TS 101 270-2, "Very high speed digital subscriber line (VDSL); Part 2: Transceiver Specifications", February 2001.
- [E3] ETSI TS 101 524, "Symmetrical single pair high bitrate Digital Subscriber Line (SDSL)", November 2001.
- [E4] ETSI TS 101 388, "Asymmetric digital subscriber line (ADSL) – European specific requirements (ITU-T G.992.1 modified)", May 2002.

### ADSL Forum:

- [A1] ADSL Forum TR-001, "ADSL Forum System Reference Model", May 1996
- [A2] ADSL Forum TR-017, "ATM Over ADSL Recommendation", March 1999



## *Links*

ADSL Forum - <http://www.adsl.com/>

ADSL Tutorials and Resources - <http://www.iol.unh.edu/training/adsl.html>

ADSL Tutorial - <http://www.rad.com/networks/1997/adsl/AdslMainPage.htm>

OpenDSL – <http://www.opensl.org/>



## *Acrónimos*

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AAL	ATM Adaptation Layer
AMI	Amplitude Mark Inversion
ANSI	American National Standards Institute
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	American Wire Gauge
BLES	Broadband Loop Emulation Service
CAP	Carrierless Amplitude Phase
CRC	Cyclic Redundancy Check
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DTM	Discrete Multitone
EC	Echo Cancellation
EOC	Embedded Operations Channel
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EUA	Estados Unidos da América
FDM	Frequency Division Multiplexing
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transform
FTTC	Fibre To The Cabinet
FTTP	Fibre To The Premises
FR	Frame Relay
HDB3	High Density Bipolar Order 3 Encoding
HDSL	High data rate Digital Subscriber Line / High bit rate Digital Subscriber Line
HOH	HDSL Overhead
ISDN	Integrated Services Digital Network
IAD	Integrated Access Device
ISDL	ISDN Digital Subscriber Line
IFFT	Inverse FFT
IP	Internet Protocol
ISP	Internet Service Provider
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Sector
LAPD	Link Access Procedure on D-channel
LAN	Local Area Network
NAT	Network Address Translation
OAM	Operations, Administration and Maintenance
ONU	Optical Network Unit
OS	Operations System
PABX	Private Automatic Branch Exchange
PAM	Pulse Amplitude Modulation
PCM	Pulse Code Modulation
PDN	Premises Distribution Network
PPM	Partes por milhão
PPP	Point to Point Protocol
PMD	Physical Media Dependent
PMS-TC	Physical Media Specific Transmission Convergence
POP	Point Of Presence
POTS	Plain Old Telephone Service
PSTN	Public Switched Telephone Network
PT	Portugal Telecom
PVC	Permanent Virtual Circuit



QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RDIS	Rede Digital com Integração de Serviços
RS	Reed-Solomon
STM	Synchronous Transfer Mode
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDSL	Symmetrical single pair high bitrate Digital Subscriber Line /Single Line Digital Subscriber Line
SHDSL	Single-Pair High-Speed Digital Subscriber Line
SM	Service Module
SNR	Signal to Noise Ratio
TBD	To Be Determined
TC	Transmission Convergence
TCP	Transmission Control Protocol
TE	Terminal Equipment
TPC	Transport Protocol Specific
TCM	Trellis Coded Modulation
TPS-TC	Transmission Protocol Specific Transmission Convergence
UDP	User Datagram Protocol
UDSL	Universal DSL
VBR-RT	Variable Bit Rate – Real Time
VCI	Virtual Circuit Identifier
VoDSL	Voice over DSL
VPI	Virtual Path Identifier
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
VTU	VDSL Transceiver Unit